

# نظرية الكمومية

Quantum Theory

## لا يمكن أن تؤذيكم

دليل إلى الكون



كلما أسرعنا أكثر أصبحت أشد  
رشاقة.

إن 1% من «السكون»  
الذي نلاحظه بين الأقفية  
على شاشة التلفاز، هو  
دليل على «الانفجار  
العظيم».



«كتاب غريب، ومثير، ومحركٌ  
للعقل».

— مجلة «الطبيعة» —



إذا تمّت إزالة الفراغ في الذرات، يمكن  
عندها وضع كامل الجنس البشري في  
حجم مكعب من السكر.

يبلغ وزن فنجان  
القهوة أكثر وهو حار  
مما هو بارد.



# ماركوس تشاؤون



مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم  
MOHAMMED BIN RASHID  
AL MAKTOUM FOUNDATION



الدار العربية للعلوم ناشرون  
Arab Scientific Publishers, Inc.

**منة كتاب وكتاب هدية نورة الشباب.. مشروع "نورة المعرفة للجميع"**

**منتدى مكتبة الاسكندرية [www.alexandra.ahlamontada.com](http://www.alexandra.ahlamontada.com)**

# نظرية الكم Quantum Theory لا يمكن أن تؤذي

دليل إلى الكون

يضم هذا الكتاب ترجمة الأصل الإنكليزي

The Quantum Zoo: A Tourist's Guide to the Neverending Universe

حقوق الترجمة العربية مرخص بها قانونياً من الناشر

First published in the United States as THE QUANTUM ZOO in 2006 by Joseph

Henry Press, 500 Fifth Street, NW, Washington, DC, 20001.

First published in the United Kingdom as QUANTUM THEORY CANNOT

HURT YOU in 2007 by Faber and Faber Limited, 3 Queen Square, London,

WC1N 3AH

Arabic edition is published by arrangement with the author, c/o

Sara Menguc Literary Agent.

بمقتضى الاتفاق الخطي الموقع بينه وبين الدار العربية للعلوم

Original Copyright © 2007 by Marcus Chown

All Rights reserved

Arabic Copyright © 2008 by Arab Scientific Publishers, Inc. S.A.L

---



# نظرية الكمّية

Quantum Theory

## لا يمكن أن تؤذيك

دليل إلى الكون

تأليف

ماركوس تشاون

ترجمة

الدكتور يعرب قحطان الدّوري

المركز القومي للبحث العلمي - كون، فرنسا

رئيس تحرير المجلة الدولية لعلم المواد والمحاكاة



مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم  
MOHAMMED BIN RASHID  
AL MAKTOUM FOUNDATION



الدار العربية للعلوم ناشرون  
Arab Scientific Publishers, Inc. س.م.ل

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الطبعة الأولى

1429 هـ - 2008 م

ردمك 8-300-87-9953-978

جميع الحقوق محفوظة للناسر

**الدار العربية للعلوم ناشرون**  
Arab Scientific Publishers, Inc.



عين التينة، شارع المفتي توفيق خالد، بناية الريم

هاتف: 786233 - 785108 - 785107 (1-961+)

ص.ب: 5574-13 شوران - بيروت 1102-2050 - لبنان

فاكس: 786230 (1-961+) - البريد الإلكتروني: asp@asp.com.lb

الموقع على شبكة الإنترنت: <http://www.asp.com.lb>

إن مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم والدار العربية للعلوم ناشرون غير مسؤولين عن آراء وأفكار المؤلف. وتعتبر الآراء الواردة في هذا الكتاب عن آراء المؤلف وليس بالضرورة أن تعبر عن آراء المؤسسة والدار.

التتصيد وفرز الألوان: أبجد غرافيكس، بيروت - هاتف 785107 (1-961+)

الطباعة: مطابع الدار العربية للعلوم، بيروت - هاتف 786233 (1-961+)

## المحتويات

7	كلمة المترجم .....
9	مقدمة .....

### القسم الأول: أشياء صغيرة

15	1 - استراحة قصيرة مع أينشتاين .....
29	2 - عظمة الرب في تدبير الكون .....
41	3 - الذرة الانفصامية .....
53	4 - اللادقة وحدود المعرفة .....
71	5 - الكون التخاطري .....
85	6 - التطابق وجذور التنوع .....

### القسم الثاني: أشياء كبيرة

109	7 - موت المكان والزمان .....
131	8 - $E=mc^2$ ووزن شروق الشمس .....
143	9 - قوة الجاذبية غير موجودة .....
169	10 - ذروة الأرنب أعلى من القبة .....
189	المصطلحات .....



## كلمة المترجم

الحمد لله رب العالمين خالق السموات والأرض، والصلاة والسلام على نبيه ورسوله المعلم الأمين، وعلى آله وصحبه أجمعين إلى يوم الدين.

يعتبر كتاب **نظرية الكمية The Quantum Zoo** لمؤلفه الرائد ماركوس تشون(\*) Marcus Chown معاناة ومسحاً رائعاً للعالم الغريب والمدهش للنظرية الكمية والنظرية النسبية العامة لاينشتاين. والكتاب يقدم شيئاً مثيراً للاهتمام، فيأخذ القارئ إلى دوامة العالم داخل الذرة لاستكشاف الحقائق، ويعطي تعريفاً لما يلي النظريتين الكمية والنسبية، بل ويعين على فهم الأفكار الأولية لفيزياء القرن الحادي والعشرين. ومن المثير للاهتمام ان المؤلف تجنّب التصورات الخيالية، وكتب الكثير عن هذه المواضيع، وهو خبير في كيفية التخلص من الحاجة إلى الإيضاحات.

ان شعورنا بحاجة القارئ العربي الكبيرة لمختلف العلوم والمعارف كان الحافز الرئيس لترجمة هذا الكتاب؛ تطويراً للتنمية

---

(\*) نال ماركوس تشون شهادة البكالوريوس في الفيزياء من جامعة لندن، وشهادة الماجستير من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا. مُنح جائزة الكاتب والمذيع، ويعمل مستشاراً في مجلة **عالم جديد**. يعيش حالياً مع زوجته في لندن. له خمسة كتب صدرت ضمن سلسلة **العلوم الشعبية**، منها كتاب **نظرية الكمية** المطبوع بمطابع جوزيف هنري في واشنطن دي سي بطبعته الثانية الصادرة في حزيران/يونيو 2006، وقبلها الطبعة الأولى الصادرة في آذار/مارس 2006.



وإسهاماً في خدمة الإنسانية عامة. دون أن ننسى الدور البارز لترجمة مختلف علوم الأمم الأخرى إلى اللغة العربية، ابتداءً من أواخر القرن الأول الهجري الذي أسهم في نهضة علمية قل نظيرها في التاريخ، وأدت إلى تطور الأمة الإسلامية العربية.

ونأمل بعملنا المتواضع ان نرفد المكتبات العربية العلمية المتخصصة والعامة على حدٍ سواء. ولا يفوتني أن أشكر الدكتور عمر يونس قاسم العاني الذي زودني بهذا الكتاب باللغة الإنكليزية، فله مني كل التقدير والاحترام.

المترجم

د. يعرب قحطان الدُّوري

## مقدمة

إن أحد الأقوال التالية صحيح:

- كل نفس تستشقه يحتوي على ذرة استنشقتها مارلين مونرو.
- يوجد سائل يمكن أن يصعد إلى الأعلى.
- يزداد عمرك حين تكون فوق سطح المبنى بشكل أسرع منه حين تكون أسفله.
- توجد ذرة في أماكن عديدة في نفس الوقت، ما يكافئ وجودك في نيويورك ولندن في الوقت نفسه.
- البشرية قاطبة يتناسب حجمها مع حجم مكعب من السكر.
- انتقال الزمن ليس مستحيلاً طبقاً لقوانين الفيزياء.
- ستكون أنحف عندما تنتقل بسرعة.

آسف، انا لا امزح، كل ما ذكرته صحيح!

ككاتب علوم، انا مندهش دائماً كيف ان غرائب العلوم أكثر من روايات الخيال العلمي، وكيف ان الكون مدهش أكثر من أي شيء يمكن اختراعه. وبالرغم من هذا، فإن عدداً قليلاً من الاكتشافات المتميزة خلال القرن العشرين الماضي يبدو أنه ضحل لدى الشعور والوعي العام.

ان الانجازات الضخمين خلال المائة سنة الماضية هما النظرية الكمية؛ أي نظرتنا إلى الذرات ومكوناتها، والنظرية النسبية العامة لاينشتاين؛ أي نظرتنا إلى المكان والزمان والجاذبية. وبينهما شرح افتراضي لكل شيء حول العالم وحول انفسنا.

وفي الحقيقة، يمكن القول ان النظرية الكمية صنعت فعلاً العالم الحديث، ليس فقط لشرح لماذا الأرض تحت اقدامنا، ولماذا الشمس تشرق، بل لصنع أجهزة الحاسوب والليزر والمفاعلات النووية. والنظرية النسبية ربما غير موجودة في كل مكان في عالم اليوم. لكن تعلمنا ان هناك أشياء تسمى الثقوب السوداء لا يُستدل عليها بأي شيء؛ حتى أنه لا أثر للضوء فيها، وان الكون غير موجود منذ القدم لكنه وُلد بفعل جبار، حيث أخذ الزمان حيزه بعدئذ.

وبالرغم من انني قرأت الكثير من الكتب العلمية حول هذه المواضيع، الا ان تفسيرات ذلك تركتني محتاراً حتى مع خلفيتي العلمية. لذا أستطيع ان اخمن أو اتوقع ما الذي يجب أن يكون عليه الأمر بالنسبة لغير العلماء.

قال اينشتاين: "معظم الافكار الأساسية للعلوم هي بالأساس بسيطة، ويمكن شرحها بلغة يفهما الجميع". وحسب خبرتي، كان اينشتاين على صواب. وفكرتي لكتابة هذا الكتاب هي لمساعدة الناس العاديين على فهم الافكار الأساسية لفيزياء القرن الحادي والعشرين. وكل ما كان عليّ فعله هو تعريف الافكار الرئيسية فيما بعد النظريتين الكمية والنسبية، على حدّ سواء، والتي اتضح أنها بسيطة جداً، وبعد ذلك إظهار كيف ان بقية الأشياء تتبع الطريق نفسه بصورة منطقية وغير مشكوك فيها.

فالقول أسهل من الفعل. النظرية الكمية هي مزيج من كسور، نشأت خلال السنوات الثمانين الماضية، فليس لأي كان ان يخطط ثوباً بدون درزه. هناك أفكار بارزة لهذه النظرية، مثل *التشتيت* - الذي يشرح كيف أن الذرتين وليس الناس ممكن ان تكونا في مكانين بنفس الوقت - والتي يبدو انها خارج قدرة الفيزيائيين للتواصل بطريقة ذكية. وبالتشاور مع خبراء آخرين والتفكير جدياً ان *التشتيت* يجب أن يسمى *التشتت*، اتضح لي فكرة ان الخبراء ربما هم أنفسهم لم يفهموا ذلك.

وهذا أحد اساليب حرية الرأي. وعليه فصورة التناسق تبدو غير موجودة.

ولأن صورة التناسق تبدو غير موجودة، فلقد أدركت أن عليّ تكوين صورتني الخاصة بي عن طريق جمع المعلومات بحكمة من مختلف الأشخاص. ولذا فإن معظم الشروحات المعطاة هنا لا يمكن ايجادها في مكان آخر. وآمل ان يُرفع جزء من الضباب المحيط بأفكار الفيزياء الحديثة، وبذلك نستطيع البدء بتقييم الكون المدهش والمذهل الذي نعيش فيه.





القسم الأول

**أشياء صغيرة**



## استراحة قصيرة مع اینشتاین

كيف اكتشفنا أن كل شيء مكون من ذرات  
معظمها فضاء فارغ

ذرة الهيدروجين في خلية بنهاية أنفي كانت جزءاً من خرطوم الفيل  
جوستن غادر

لم نبدِ أي اهتمام باستخدام السلاح، ولكن كان ذلك أشبه بسباق مزرع وعسير. فلقد كانوا مصرّين على رؤيتنا "كأعداء"، بالرغم من جهودنا لإعادة الأمن. فعندما أطلقت النار على مخزونهم النووي في سفينتنا، حلّقوا بمدار أعلى فوق كوكبهم الأزرق، فبدأ صبرنا ينفذ. السلاح كان بسيطاً لكن فعالاً. وقد أفرغت المادة من محتواها الفارغ. تفحّص أمر حملتنا السرياني المكعب المعدني المضىء، بطول اسم، ثم هزّ رأسه يائساً. كان من الصعب أن نصدق أن ذلك يوافق البشرية قاطبة!"

ان كانت فكرة أن البشرية قاطبة توافق حجم مكعب من السكر  
أشبه بروايات الخيال العلمي، فلتفكر ثانية. فالجدير بالملاحظة ان  
 $99.9999999999$  بالمائة من حجم المادة الاعتيادية هو فضاء  
فارغ. وإذا كانت هناك طريقة لإخراج الفراغ من ذرات اجسامنا،  
فالبشرية قاطبة ستتوافق مع الفراغ الموجود في مكعب السكر.

إن الفراغ المروع في الذرات هو من السمات المميزة للاحجار المكونة للمادة. وعلى الجانب الآخر، فهناك 10 ملايين ذرة موضوعة بعضها قرب البعض الآخر على اتساع هذه الصفحة، وهنا يبرز السؤال التالي، كيف اكتشفنا ان كل شيء مكون من ذرات في المقام الاول؟

فكرة ان كل شيء مكون من ذرات كانت للفيلسوف الاغريقي ديموقريطيس حوالي 440 ق.م<sup>(1)</sup>. ولرفع صخرة - أو جزء منها أو قِذْر طينية - سأل ديموقريطيس نفسه السؤال التالي: "إذا استطعت تقطيع صخرة إلى نصفين، ثم إلى نصفين آخرين، هل أستطيع الاستمرار بالتقطيع إلى انصاف إلى الابد؟" جوابه كان بالتأكيد لا. فلم يكن مقتنعاً ان المادة يمكن أن تتصف إلى الأبد. عاجلاً أم آجلاً، أدرك ديموقريطيس ان ذرة صغيرة من المادة يمكن أن تصل إلى حالة من الصغر بحيث لا يمكن تقطيعها. فالأغريق سمو الشيء غير القابل للتقطيع انه *a-tomos*، وديموقريطيس سمى أحجار المبنى الافتراضي للمادة بأنها نرات.

فالذرات تبدو صغيرة جداً بالنسبة للحواس، والدليل على رؤيتها يبدو صعباً. ومع ذلك، فالرياضي السويسري دانيال برنولي، أوجد في القرن الثامن عشر طريقة لذلك، فبالرغم من ان الذرات تستحيل مشاهدتها مباشرة، لكن ذلك ممكن بصورة غير مباشرة، وعلل ذلك بأنه إذا كان هناك عدد كبير من الذرات المجتمعة، فهناك تأثير كبير وكاف لتكون واضحة في عالم اليوم. وكل ما احتاجه دانيال برنولي هو مكان في الطبيعة لحدوث ذلك، فوجد ضالته في الغاز.

---

(1) بعض هذه الافكار ذكرتها في كتابي السابق الزمن السحري (مطبعة جامعة أكسفورد، نيويورك، 2001)، ومعذرة لمن قرأه. فمن الضروري معرفة بعض الأشياء الأساسية عن الذرة لتقييم الفصول التي تلي النظرية الكمية؛ أساس نظرية العالم الذري.

تخيّل برنولي ان الغاز عبارة عن هواء أو بخار يحتوي على مليارات المليارات من الذرات في حركة مجنونة ومتواصلة تشبه سرباً من النحل الغاضب. هذه الرؤية المفعمة بالحياة تشبه ضغط الغاز الذي ابقى البالون منتفخاً، أو الضغط المندفع نتيجة كبس محرك البخار. وبوضع هذه الذرات في حاوية، فالذرات ستضرب بقوة الجدران الداخلية للحاوية كضرب حبات البرد على سقف قصديري، مولدة قوة شديدة حسب أحاسيسنا الخشنة؛ أشبه بقوة ثابتة تدفع الجدران للخلف.

لكن تفسير برنولي الدقيق للضغط أعطى توضيحاً أكثر من الصورة الموجودة في عقلنا عن استمرار الحركة في الغاز. وبشكل حاسم، قاد ذلك إلى توقع محدد. فعند ضغط الغاز ليصبح بنصف حجمه الأصلي، تطير ذرات الغاز إلى نصف المسافة بين التصادمات مع جدران الحاوية، فتتضاعف التصادمات مع الجدران، وبالتالي يتضاعف الضغط. وإذا استمر ضغط الغاز ليصبح بثلاث حجمه، فالذرات ستتصادم ثلاث مرات، والضغط سيزداد إلى ثلاثة اضعاف، وهكذا تتواصل العملية.

العالم الانكليزي روبرت بويل لاحظ عام 1660 السلوكيات الذرية للغاز، مؤكداً رؤية برنولي للغاز. هذه الرؤية تشبه الذرات لحبات صغيرة تطير هنا وهناك في فضاء فارغ، ما يؤيد وجود الذرات. ورغم هذا النجاح، فالدليل على وجود هذه الذرات لم يتوصل إليه لغاية القرن العشرين. فقد كان مطموراً في ظاهرة سميت الحركة البراونية.

سميت هذه الحركة بالحركة البراونية نسبة إلى روبرت براون، عالم الاحياء الذي ابحر إلى استراليا في بعثة صغيرة عام 1801. وخلال إقامته هناك صنّف براون 4,000 عينة من النباتات المتناقضة، مكتشفاً نوى خلايا الحياة، بالإضافة إلى ملاحظته عام 1827 لحبوب اللقاح المعلقة بالماء. وبالنسبة لبراون - من خلال النظر عبر عدسات



التكبير - تبدو حبوب اللقاح وكأنها خاضعة لحركة عاصفة غريبة، ما يجعل طريقها عبر السائل متعرجاً كسكير متمايل في مشيه من محل بيع الخمر إلى منزله.

ان براون لم يحل سلقاً لغز حبات اللقاح المستعصية. فلقد كان هذا الاكتشاف منتظراً مجيء البرت اينشتاين الذي كان يبلغ من العمر 26 سنة. ففي السنة /الاعجوبية عام 1905 لم يكن اينشتاين قد هزم نيوتن باستبدال أفكار نيوتن في الحركة بنظريته النسبية الخاصة، بل اخترق 80 عاماً من لغز الحركة البراونية.

ان سبب الرقص الجنوني لحبات اللقاح - كما فسر اينشتاين - هو أن الحبات كانت تحت تأثير قذف مستمر لجزيئات الماء الصغيرة. تصور كرة مطاطية عملاقة قابلة للنفخ، واطول من قامة الإنسان، دُفعت إلى عدد كبير من الناس. فإذا كان اتجاه الكرة نحو اشخاص محددين دون آخرين معهم، فسيكون هناك تجاهل لاشخاص في جهة، أكثر من غيرهم في الجهة الأخرى. هذا اللاتوازن كافٍ لجعل الكرة تتحرك بشكل غريب وغير معتاد عليه. وبنفس الطريقة، فالحركة الغريبة لحبوب اللقاح تتجاهل جزيئات الماء المقذوفة من جانب أكثر من الجانب الآخر.

استنبط اينشتاين نظرية رياضية لوصف الحركة البراونية، والتي تنوقع ببعد وسرعة حبة اللقاح في انتقالها نسبة للانحدار القاسي لجزيئات الماء حول الحبات. فكل شيء متوقف على حجم جزيئات الماء، ونظراً لحجم تلك الجزيئات الكبير يؤدي ذلك إلى اختلال توازن القوى على حبة اللقاح ونتيجته على الحركة البراونية.

اما الفيزيائي الفرنسي جان بابتيست بيرن فقد قارن ملاحظاته حول جزيئات الماء المعلقة، وهي المادة الصمغية المأخوذة من شجرة كمبودية، وتوقعات نظرية اينشتاين. واستدل على ان حجم جزيئات الماء

وحجم الذرات المكونة لتلك الذرات، هو ما يعادل حوالى عشر مليار من المتر، ولصغرها الشديد توضع 10 ملايين ذرة على امتداد المسافة. ولصغر حجم الذرات، عند وضع مليارات فوق المليارات من الذرات في مكان واحد منتشرة في الغلاف الجوي المحيط بالأرض، فكل نفس من الغلاف الجوي ينتهي باحتوائه على العديد من الذرات. وبطريقة أخرى، كل نفس تستنشقه يحتوي على الأقل على ذرة استنشقتها البرت اينشتاين أو يوليوس قيصر أو مارلين مونرو أو حتى تيرانوسورس ريكس خلال مشيهم على الأرض.

وماذا بعد، فالذرات في المحيط الحيوي الأرضي تدور بثبات. وبموت الكائن الحي فإنه يتحلل، وذرات جسمه تعود للتربة والغلاف الجوي لتندمج مع النباتات التي يأكلها الإنسان والحيوان. وكتب الروائي النرويجي جوستن غاردر في عالم صوفي: "إن ذرة كربون في عضلة قلبي كانت في ذيل أحد الديناصورات".

والحركة البراونية كانت أكثر الأدلة قوة على وجود الذرات. فما من أحد حدّق في المجهر ليرى الرقص الجنوني لحبات اللقاح تحت الضرب القاسي وشكّ أن العالم جوهرياً مكون من جسيمات صغيرة تشبه الرصاصات. ولكن مشاهدة حبات اللقاح الشديدة الحركة، والشبيهة بالذرات، ليست هي نفسها مشاهدة الذرات فعلياً. ولذلك كان لا بدّ من الانتظار حتى عام 1980 حيث اكتشف جهاز يسمى الجهاز المجهري نفقي الفحص STM.

إن فكرة الجهاز STM أصبحت معروفة وبسيطة جداً. فالرجل الاعمى يستطيع أن يرى وجه أي شخص آخر بعد تحريك اصبعه على وجه ذلك الشخص ليرسم صورة عنه في عقله. وجهاز STM يعمل بنفس الطريقة. الفرق هو أن ذلك الاصبع هو اصبع معدني، أي أنه عبارة عن إبرة معدنية تذكرنا بإبرة الحاكي أو الفونوغراف القديم.

وبسحب تلك الإبرة على سطح الاسطوانة وتغذيتها بحركة علوية - سفلية من خلال جهاز الحاسوب، فمن الممكن رسم صورة مفصلة عن الموجة في الحقل الذري<sup>(2)</sup>.

وبالتأكيد هناك ما هو أكثر بقليل. فعلاوة على ان مبدأ الاختراع بسيط، الا ان هناك صعوبات هائلة لاجراء الاختراعات إلى حيز الوجود. وحتى هذه اللحظة، فالإبرة التي اخترعت تكفي لتحسس الذرات. وأدركت لجنة جائزة نوبل للفيزياء هذه الصعوبات عندما منحت جيرد بيننغ وهاینرش روهـرر الباحثين في شركة IBM والمخترعين لجهاز STM جائزة نوبل للفيزياء عام 1986.

وكان بيننغ وهاینرش من الأوائل الذين شاهدوا الذرة. فصور STM هي الأكثر تحسناً في تاريخ العلوم على امتداد بزوغ الأرض فوق ليل اسود للقمر أو المسح الحزوني لـ DNA. والذرات الشبيهة بذرات صغيرة، تبدو كالبرتقال، فهي مرتبة في صندوق الصف تلو الآخر. ولكنها تشبه أكثر حبات صلبة صغيرة، ما جعل ديموقريطيس يراها بعين عقله قبل 2400 سنة. ولا شيء آخر ممكن توقعه مثل التقدم في التأكيدات التجريبية.

ولكن، ليس هناك سوى جانب واحد من الذرة يمكن إظهاره بجهاز STM. وكما أدرك ديموقريطيس بنفسه، إن الذرات أكثر من مفهوم حبات صغيرة وبسيطة في حركة متواصلة.

---

(2) من المؤكد ان الإبرة لا تتحسس سطح الاسطوانة مثل اصبع الإنسان. فإذا كانت الإبرة مشحونة كهربائياً ووضعت بالقرب من سطح الاسطوانة الموصلة للكهرباء، فإن تياراً كهربائياً يجري بين رأس الإبرة وسطح الاسطوانة، ويعرف بتيار النفق، وهو يتمتع بصفة من الممكن استغلالها: حجم التيار حساس جداً لعرض الفجوة. فعند تحريك الإبرة، بحيث يصبح ظلها أقرب إلى سطح الاسطوانة، يتنامى التيار بسرعة؛ إذا لم يكن هناك احتكاك، وهبوط عمودي للتيار. وهو ما يعطي للإبرة حساسية لمس اصطناعية.

## أحجار لعبة الليغو في الطبيعة

الذرات هي أحجار الليغو الخاصة بالطبيعة، وتبدو بأشكال وأحجام مختلفة، وبتركيب هذه الأحجار مع بعضها بطرق مختلفة، تتكون ذرة، أو قطعة من الذهب، أو حتى كائن بشري. فكل شيء نتيجة هذه التركيبات.

قال الأمريكي ريتشارد فينمان الحائز على جائزة نوبل للفيزياء: "إذا حصلت كارثة ما ودُمّرت فيها كل المعارف العلمية، وانتقلت فقط عبارة واحدة بسلام إلى الأجيال المتعاقبة، فأبي عبارة من الممكن أن تنقل أغلب المعلومات بأقل كلمات؟" وكان يقين: "كل شيء مكون من ذرات". ولبرهنة أن الذرات هي أحجار لعبة الليغو الخاصة بالطبيعة كان التعريف بأنواع مختلفة من الذرات. وهكذا فإن حقيقة أن الذرات صغيرة جداً بحيث لا يمكن إدراكها بالحواس جعلت وظيفة كل شيء ضئيل مهمة في سبيل برهنة أن الذرات هي حبات صغيرة في حركة مستمرة. والطريقة الوحيدة لتعريف أنواع مختلفة من الذرات كانت بإيجاد مادة مكونة من نوع واحد من الذرات تحديداً.

ففي عام 1789 جمع الارستقراطي الفرنسي انتوان لافوازييه قائمة من المواد، التي اعتقد انه لا يمكن تجزئتها إلى مواد اصغر. حيث احتوت القائمة آنذاك 32 عنصراً. وبالرغم من أن بعضها ليس عناصر جوهريّة، فقد احتوت على الذهب والفضة والحديد والزنك. وبعد 40 سنة من موت لافوازييه في غويتين عام 1794، توسّعت قائمة العناصر لتحتوي على 50 عنصراً. واليوم أصبح لدينا 92 عنصراً طبيعياً، ابتداءً من الهيدروجين الاخف إلى اليورانيوم الاثقل.

لكن ما الذي جعل ذرة ما تختلف عن الأخرى؟ فعلى سبيل المثال كيف تختلف ذرة الهيدروجين عن ذرة اليورانيوم؟ يمكن الحصول على

الجواب عند معاينة التركيب الداخلي للذرات. ولكن الذرات صغيرة جداً، مما يجعل من الصعب على المرء إيجاد طريقة ليطلع بها على ما في داخل الذرة. ولكن النيوزلندي ارنست رذرفورد قام بما عجز عنه الآخرون، ففكرته الابداعية كانت باستعمال ذرات لرؤية ما بداخل ذرات أخرى.

### حشرة العثة في الكاتدرائية

ان الفكرة التي كشفت عن تركيب الذرات هي النشاط الاشعاعي، وقد اكتشفها الكيميائي الفرنسي هنري بيكاريل عام 1896. وبين عام 1901 و1903 وجد رذرفورد والكيميائي الانكليزي فردريك سودي دليلاً اقوى على ان الذرة المشعة هي ذرة ثقيلة بطاقة عالية. وحتماً بعد مرور ثمانية أو سنة أو ملايين السنين، فالطاقة الفائضة ستفصل بلفظ جسيمات بسرعة عالية. يسميها الفيزيائيون تجزؤاً أو انحلالاً إلى عناصر أخف قليلاً.

إحدى تلك الجسيمات هي جسيمات الفا، عرقها رذرفورد والفيزيائي الالماني الشاب كاير بانها ذرة الهيليوم، ثاني أخف العناصر بعد الهيدروجين.

وفي عام 1903 قام رذرفورد بقياس سرعة جسيمات الفا المتحررة من ذرات الراديوم المشع. فكانت الدهشة ان سرعتها هي 25,000 كم/ثانية، أي أن سرعتها تعادل مائة الف ضعف سرعة الطائرة النفاثة. عندئذ فهم رذرفورد ان هذه الجسيمات من الممكن ان تتحطم داخل الذرة فتظهر مدى العمق داخل الذرة.

الفكرة بسيطة، وهي ان نطلق جسيمة الفا على ذرة ما. فإذا كان هناك شيء صلب تصطدم به أثناء مرورها إلى داخل الذرة، فعندئذٍ



تتحرف عن مسارها الاصلي. وباطلاق الآلاف والآلاف من جسيمات الفا على ذرة ما ومراقبة كيف يمكن أن تتحرف عن مسارها، يكون من الممكن بناء صورة داخلية عن الذرة.

ففي تجربة رذرفورد التي انجزها كايكر والفيزيائي النيوزلندي الشاب أرنست مارسدن عام 1909، تجربة استطارة الفا، استخدمنا عينة صغيرة من مادة الراديوم لتواجه جسيمات الفا ما يشبه إطلاقاً مجهرياً للنار. فلقد وضعنا مادة الراديوم خلف لوح من الرصاص ذي فتحة ضيقة، فظهر شعاع رفيع من جسيمات الفا من الجهة الأخرى للوح الرصاص. فكان أصغر مسدس في العالم للجسيمات الدقيقة السريعة.

وضع كايكر ومارسدن رقاقة معدنية مصنوعة من الذهب بسمكة بضعة آلاف من الذرات في خط النار. وكانا متوهمين ان كل جسيمات الفا الصادرة من المسدس ستمر عبر هذه الفتحة. ولكن أصبحا على يقين بأن بعض هذه الجسيمات - أثناء مرورها - ستمر بالقرب من ذرات الذهب لتتحرف بعدها عن مسارها الطبيعي.

وخلال زمن تجربة كايكر ومارسدن، تم التعرف على جسيمة داخل الذرة، انه الإلكترون الذي اكتشفه الفيزيائي البريطاني جي جي تومسون سنة 1895. والإلكترونات هي جسيمات صغيرة ولكن مضحكة، أصغر بحوالى 2000 مرة من ذرة الهيدروجين، وهي على ما يبدو جسيمات محيرة في علم الكهرباء، ومنشقة عن الذرات، تتنوع على طول سلك من النحاس وسط مليارات من الإلكترونات، مكونة تياراً كهربائياً.

الإلكترون هو أول جسيم دون الذري، وهو يحمل إشارة سالبة. ولا أحد يعرف بالضبط ما هي الشحنة الكهربائية، ولا نعرف سوى أنها تأتي بشكلين: سالبة وموجبة. والمادة الاعتيادية المؤلفة من ذرات، ليس

لها شحنة كهربائية. وفي الذرات الاعتيادية، الشحنة السالبة تتوازن مع الشحنة الموجبة على نحو افضل. وهذه هي سمات الشحنة الكهربائية، فالشحنات المختلفة تتجاذب أما المتماثلة فتتنافر فيما بينها. وبالنتيجة، هناك قوة تجاذب بين الإلكترونات الذرات المشحونة سلبياً وتلك الجسيمات المشحونة إيجابياً. هذا هو التجاذب الذي يجمع الشيء بأكمله مع بعضه البعض.

وبعد فترة ليست ببعيدة عن اكتشاف الإلكترون، استعمل تومسون هذه النظريات لاختراع الصورة العلمية الأولى للذرة. حيث رآها كما لو أنها مجموعة من الإلكترونات الصغيرة المثبتة على كرة مليئة بالشحنات الموجبة "ما يشبه الزبيب في قالب حلوى". فكان هذا نموذج حلوى تومسون للذرات، والذي جعل كاير ومارسدن يظنان انه تأكيد لتجربتهما حول استطرارة جسيمات الفا.

لقد كانا محبطين.

اما الشيء الذي اطفأ نموذج الحلوى لتومسون فقد كان نادراً ولكنه ملاحظ. فواحدة من كل 8000 جسيمة الفا تطلق على رقاقة الذهب وترتد عنها.

وطبقاً لنموذج الحلوى لتومسون، فالذرة مؤلفة من وفرة من الإلكترونات الثاقبة كالدبوس والمغروسة - المثبتة - في عالم من الشحنات الموجبة. اما جسيمة الفا التي اطلقها كاير ومارسدن على رقائق مرتبة، فهي من جهة أخرى تمثل قطاراً سريعاً شبه نري لا يمكن إيقافه، وهو أثقل بحوالى 8000 إلكترون. واحتمال أن تتحرف هذه الجسيمة السريعة على نحو جارف عن مسارها أكبر من احتمال انحراف القطار السريع عن سكة القطار بشكل طائش. يقول رذرفورد: "انه من غير المتوقع ان تقذف بمحارة تبلغ سماكتها 38 سم على انسجة ورقية ثم ترتد لتضربك!"

استنتج كايكر ومارسدن بكل فخر ان الذرة ليست بالشيء الرقيق على الإطلاق. فهناك أشياء مدفونة بداخلها من الممكن أن توقف القطار السريع شبه الذري عن مساره، وتجعله يكف عن الدوران ثم من الممكن ادارته من جديد. وهناك كتلة صلبة ناعمة ذات شحنة موجبة في المركز ترد الشحنات الموجبة عن جسيمة ألفا الداخلة. بيد ان هذه الكتلة الصلبة قادرة على أن تقاوم جسيمة الفا الضخمة بدون ان تبدو انها ضاربة، ومن المجحف جداً ان نقول انها جسيمة ضخمة. فبالحقيقة إنها تحتوي على معظم كتلة الذرة تقريباً. فهنا اكتشف رذرفورد النواة الذرية.

ان الصورة الداخلية للذرة يمكن تخيلها، ولقد بدت مخالفة لنموذج الحلوى الذي تحدث عنه تومسون. والصورة عبارة عن نظام شمسي صغير، فالإلكترونات السالبة الشحنة تجذبها النواة الموجبة الشحنة، فتدور حولها كدوران الكواكب حول الشمس. وتبدو النواة على الأقل أضخم من جسيمة الفا، ولكن ليس لصد الإلكترونات وطردها خارج الذرة. علماً ان النواة تحتوي على 99.9% من كتلة الذرة<sup>(3)</sup>.

والنواة تبدو صغيرة جداً. فإذا وضعت الطبيعة عدداً كبيراً من الشحنات الموجبة في حجم صغير جداً، تمارس النواة عندئذ قوة تنافرية بحيث تجعل جسيمة الفا تتخذ شكل U. لكن الأكثر لفتاً للنظر في ما يتعلق برؤية رذرفورد للذرة هو فراغها المخيف. فالكاتب المسرحي توم

---

(3) لقد اكتشف الفيزيائيون ان النواة تحتوي على نوعين من الجسيمات، إحداهما جسيمة مشحونة تسمى البروتون والأخرى متعادلة أو غير مشحونة تسمى النيوترون. وعدد البروتونات داخل النواة مساوٍ لعدد الإلكترونات التي تدور خارج النواة. والفرق بين الذرات هو بعدد البروتونات داخل النوى (وبالنتيجة عدد الإلكترونات في مدارات الذرة). فعلى سبيل المثال، يحتوي الهيدروجين بروتوناً داخل النواة، بينما يحتوي اليورانيوم 92 بروتوناً.

ستوبارد وضعها بشكل جميل في مسرحيته *الحظ الجيد*: "الآن اقبض كف يدك، فإذا كان كف يدك أكبر من نواة الذرة، فإن الذرة أكبر من القديس بول، وإذا حدث هذا ليكون ذرة الهيدروجين، عندئذٍ هناك إلكترون واحد ينتقل من مكان لآخر أشبه بحشرة العثة في الكاتدرائية الفارغة، تحت القبة أو عند المذبح".

وبالرغم من أن النواة تبدو صلبة، فالمألوف أنها لم تكن شبحاً. والمادة مهما كان شكلها، سواء أكانت كرسيّاً أو إنساناً أو نجماً فأغلبها فضاء فارغ.

فجوهر الذرة يكمن في نواتها الصغيرة؛ إذ إنها (النواة) أصغر بمئة ألف مرة من الذرة الكاملة.

وعلى نحو آخر، إن المادة منتشرة بشكل مفرط. فإذا كان بالإمكان طرد الفراغ الزائد خارجاً، فالمادة ستأخذ حيز الغرفة. وفي الحقيقة هذا ممكن تماماً. وعلى الرغم من أن امكانية وضع البشرية في حجم مكعب من السكر غير موجودة، فهناك طريقة موجودة لوضع مادة بحجم ضخم في مكان صغير. تلك هي الجاذبية الضخمة القوية، والنتيجة هي نجم البروتون. وهي كوضع كتلة هائلة بحجم الشمس في مكان ليس أكبر من جبل افرست<sup>(4)</sup>.

### الذرة المستحيلة

كانت رؤية رذرفورد للذرة - بأنها شبيهة بالنظام الشمسي حيث تدور الإلكترونات الصغيرة حول نواة سميكة، كما تدور الكواكب حول الشمس - نصراً للعالم التجريبي. وللأسف لم تكن متوافقة مع كل ما عرف في الفيزياء!

---

(4) انظر الفصل الرابع "اللاذقة وحدود المعرفة".

وطبقاً للنظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل - التي تصف النظريات الكهربائية والمغناطيسية - حين يتسارع الجسم المشحون، تتغير سرعته واتجاهه، ويعطي أمواجاً كهرومغناطيسية تسمى الضوء. والالكترون هو جسم مشحون يدور حول النواة وكثيراً ما يغير اتجاهه، لذا فإنه يعمل كمناارة اضاءة صغيرة، ويبث باستمرار أمواجاً ضوئية في الفراغ. والمشكلة انها تبدو ككارثة بالنسبة لأي ذرة. فالطاقة تشع كضوء يأتي من مكان ما، ويمكن أن يكون من الإلكترون ذاته. واستنزاف طاقة الإلكترون يمكن أن يجعله أقرب إلى مركز الذرة. واثبتت الحسابات انه يمكن للإلكترون أن يصطدم بالنواة خلال أجزاء من ملايين جزء من الثانية. وعندها لن يكون للذرات وجود. ولكن الذرات موجودة. فالعالم من حولنا يبرهن بما فيه الكفاية على ذلك. وبعيداً جداً عن انتهاء جزء من مئات الملايين جزء من الثانية، فالذرات تقاوم للعيش بسلام منذ ما يقارب 14 مليار سنة من عمر الكون. وهذه هي بعض المحتويات الحساسة المفقودة في رؤية رذرفورد للذرة.

هذه المحتويات هي نوع ثوري جديد في الفيزياء يسمى نظرية الكم.



## 2

### عظمة الرب في تدبير الكون

كيف اكتشفنا ان الافعال في عالم الذرات  
تحدث بدون سبب على الإطلاق

قال فيلسوف ذات مرة: "انه من الضروري لوجود العلم ان نفس الشروط  
تنتج دائماً نفس النتائج". حسناً، هذا لا يحدث!

ريتشارد فينمان

على ارتفاع 2025 م في قمة جبل عملاق مهجور، هناك آثار  
جهاز تلسكوبي بقطر 100 م لمراقبة سماء الليل. يراقب مجرة بدائية عند  
حافة الكون المراقب، والضوء الضعيف - الذي ينتقل عبر الفضاء منذ  
امد بعيد حتى قبل ولادة الأرض - يلتقط بمرآة جهاز التلسكوب المزود  
بكشافات إلكترونية عالية التحسس. داخل قبة التلسكوب - حيث توجد  
لوحة التحكم المشابهة للكونسول في مؤسسة النجوم - يشاهد الفلكيون  
صورة غامضة لمجرة تسبح على شاشة الكمبيوتر. أدار شخص ما  
مكبر الصوت عالياً، ما جعل التصدعات العازلة للصوت تملأ غرفة  
التحكم. بدا الصوت كصوت إطلاق النار من مسدس أو كقرع زخات  
المطر على سقف من القصدير. بالحقيقة انها جسيمات صغيرة تتساقط  
على كاشفات التلسكوب من مسافات عميقة جداً في الفضاء.

بالنسبة لهؤلاء الفلكيين الذين بذلوا قصارى جهدهم لرؤية مصادر ضعيفة للضوء في الكون، إنها في الحقيقة دليل ذاتي بأن الضوء هو سيل من جسيمات تشبه الرصاصة تسمى الفوتونات. ومنذ زمن ليس ببعيد، تلقت الجالية العلمية ضربة خفيفة وصرخت لتقبل هذه الفكرة. وبالحقيقة فمن العدالة القول ان اكتشاف أن الضوء هو عبارة عن سيل متقطع أو كمّات كان الاكتشاف الأكثر إذهالاً في تاريخ العلوم. فلقد رفع الغطاء الأمني للعلوم في مطلع القرن العشرين وعرض الفيزيائيين للحقيقة المؤلمة لعالم ليس في بلاد العجائب حيث تحدث الأشياء لأنها تحدث، مع اعتبار مطلق لقوانين الحضارة في الأسباب والتأثير.

وأول من اكتشف ان الضوء مؤلف من فوتونات كان اينشتاين. فبمجرد تصور سيل من الأجسام الصغيرة استطاع تحسس الظاهرة المعروفة بالتأثير الكهروضوئي. إذ إنك حين تمشي في سوق تجاري وتُفتَح لك الأبواب آلياً، فهذا لأنها مسيطر عليها بالتأثير الكهروضوئي. فعندما تتعرض المعادن للضوء فإنها تنقذف جسيمات عبارة عن إلكترونات كهربائية. وبمشاركتها في خلية ضوئية، مثل أي معدن فإنها تولد تياراً كهربائياً صغيراً أطول من شعاع الضوء الساقط على الخلية الضوئية. وإذا اراد صاحب المحل التجاري تعطيل التيار، فابواب المحل تعطي إشارة التوقف جانباً.

ومن السمات الفريدة للظاهرة الكهروضوئية، أنه وباستعمال ضوء ضعيف جداً، فالإلكترونات ستقتلع من المعدن على الفور وبدون تأخير يذكر<sup>(1)</sup>. وهذا يتعدّر تفسيره إذا اتصف الضوء بأنه موجة. والسبب ان

---

(1) السمة الأخرى المميزة للظاهرة الكهروضوئية انه لا يوجد إلكترون على الإطلاق ينبعث من المعدن إذا أضىء المعدن بضوء طوله الموجي (مقياس المسافة بين موجتين متعاقبتين) فوق مرحلة العتبة. لقد فهم اينشتاين ان فوتونات الضوء لها طاقة تنقص بازدياد طوله الموجي. وتحت حد معلوم للطول الموجي فالفوتونات لها طاقة غير كافية لتحرير الإلكترون من المعدن.



الموجة التي تنتشر في المحيط، ستتفاعل مع عدد كبير من الإلكترونات في المعدن. وبعض هذه الإلكترونات ستحرر حتماً من المعدن قبل الإلكترونات الأخرى.

ان بعض الإلكترونات ممكن تحريرها بعد 10 دقائق أو بعد أن يسطع الضوء على المعدن. إذاً، كيف يكون ممكناً ان الإلكترونات تتحرر من المعدن آنياً؟ هناك طريقة وحيدة وهي ان كل إلكترون يتحرر من المعدن يحتاج لفوتون واحد من الضوء.

والدليل الأقوى على ان الضوء يتألف من جسيمات شبيهة بالرصاصات يأتي من تأثير كومبتون. ومفاده ان الإلكترونات إذا تعرضت للاشعة السينية (نوع من الضوء عالي جداً) فإنها ترتد بنفس الطريقة التي ترتد بها كرات البليارد عند اصطدامها مع كرات أخرى.

وظاهرياً، إن اكتشاف أن الضوء عبارة عن سيل من جسيمات صغيرة ربما لا يكون مفاجئاً أو قابلاً للملاحظة. والسبب ان هناك دليلاً قوياً ومؤكداً بأن الضوء يختلف بعض الشيء عن سيل من الجسيمات ويمكن تصويره انه موجة.

## التموج في بحر الفضاء

مع مطلع القرن التاسع عشر، أخذ الفيزيائي الانكليزي توماس يونغ والمشهور بحلّ شيفرة حجر رشيد<sup>(2)</sup> بشكل مستقل عن الفرنسي جان فرانسوا شامبويون لوحاً معتماً فيه شقان عموديان قريبان من بعضهما البعض ثم أضاء ضوءاً أحادي اللون. فإذا سلك الضوء سلوكاً

---

(2) هو حجر اكتشف عام 1799 في رشيد بمصر يحمل نقوشاً متوازية باليونانية والهيروغليفية مما ساعد على حل رموز هذه الاخيرة.

موجياً، فإن كل شق سيعتبر مصدراً جديداً للأمواج، منتشراً بعيداً عن اللوح بما يشبه التموجات المركزية في بركة.

والصفة المميزة لهذه الموجات هي التداخل. فموجتان متشابهتان تمران بالقرب من بعضهما، تقوّي إحداهما الأخرى عندما تكون سعة الموجة أو قمتها متطابقة مع سعة الموجة الأخرى، وتلغي إحداهما الأخرى إذا تطابق مرتفع الموجة مع منخفض الأخرى. راقب بركة الماء خلال سقوط المطر وسوف ترى التموجات من كل قطرة تنتشر في البركة وكذلك التداخل البناء والهدام لكل واحد من التموجات.

ففي مسار الضوء يبرز شقاً يونغ، والذي يتوسط شاشة بيضاء ثابتة. ونلاحظ على الفور سلسلة من الخطوط العمودية المتناوبة المضيئة والمظلمة والشبيهة بالخطوط على لوحة الاسواق التجارية. نموذج التداخل يثبت بما لا يقبل الجدل ان الضوء هو موجة. وبما ان الضوء يتموج بين الشقين، فإما أن تقوّي إحدى الموجات بقية الموجات فيزداد الضوء إضاءة، أو تضعف إحداها الأخرى فيخف الضوء.

وفي تجربة الشق المزدوج، استطاع يونغ تحديد طول موجة الضوء. واكتشف انها جزء من الالف من المليمتر - وهي أصغر بكثير من سماكة شعرة الإنسان - مما يفسّر لماذا لم يفكر أحد من قبل بأن الضوء هو موجة.

وبعد قرنين لاحقين، فإن صورة يونغ للضوء والتي هي عبارة عن تموجات في بحر الفضاء تسود بقوة في تفسير كل الظواهر المعروفة بما فيها الضوء. لكن مع نهاية القرن التاسع عشر، بدأ الاضطراب، بالإضافة إلى أن القليلين لاحظوا في البدء صورة الضوء على شكل موجة، وصورة الذرة على شكل حبة صغيرة من المادة، فكان التناقض. والصعوبة تكمن في السطح البيني، أي المكان حيث يلتقي الضوء بالمادة.

## وجهان لعملة واحدة

التفاعل بين الضوء والمادة هام لكل العالم. فإذا لم تعطينا الذرات في سلك المصباح ضوءاً لا نستطيع اضاءة منازلنا. وإذا لم تستطع الذرات في شبكية عينيك امتصاص الضوء، فليس ممكناً قراءة هذه الكلمات. فالمشكلة تكمن في أن امتصاص وانبعث الضوء بواسطة هذه الذرات يعتبران مستحيلين لفهم صفة الضوء الموجية.

ان الذرة هي شيء كثيف، وهي محاطة بطبقة خفيفة من الفراغ، بينما تنتشر موجة الضوء في الفراغ وتملاً قدر الإمكان أكبر كمية منه. فبامتصاص الضوء من قبل الذرة كيف يمكن لشيء ان يُضغط في حجم صغير؟ ومتى تبعث الذرة الضوء؟ وكيف للشيء الصغير ان يلفظ شيئاً كبيراً؟

الحس المشترك يقول ان الطريق الوحيد للضوء ليمتص أو يبعث شيئاً صغيراً هو إذا كان أيضاً شيئاً صغيراً. والقول السائد: "لا شيء يطابق داخل الالغى غير افعى أخرى".

فالضوء عبارة عن موجة. والطريقة المثلى لحل المشكلة المحيرة للفيزيائيين هي بأن ينفضوا ايديهم من التذمر واليأس ويقبلوا فكرة ان الضوء موجة وجسيمة. وبالتأكيد ان البعض لا يستطيع أن يتقبلها أنياً وينشر الفكرة! وهذا صحيح تماماً في عالم اليوم. وعلى كل حال فنحن لا نتكلم عن عالم اليوم بل عن العالم المجهرى الدقيق.

والعالم المجهرى من الذرات والفوتونات يبدو وكأنه لا يشبه عالماً من الأشجار والغيوم والناس. وهكذا فالسائد انه أصغر من عالم الأشياء المألوفة ملايين المرات، فلماذا يجب أن يكون هكذا؟ فلا وجود لكلمة مناسبة في لغتنا اليوم يمكن مقارنتها في عالمنا. كالعملة ذات الوجهين، وما نراه هو صفة الجسيمة في وجه والموجة في وجه آخر. إذاً، ما هي حقيقة الضوء؟

انه غير قابل للتعريف مثل تعريف الضوء الازرق للرجل الاعمى.  
يسلك الضوء سلوكاً موجياً تارة، وسلوكاً مادياً يشبه سيلاً من  
الجسيمات تارة أخرى. وكان هذا صعب القبول إلى ابعد حد لفيزيائيي  
القرن العشرين. ولكن ليس لديهم خيار، فهو ما اخبرتهم به الطبيعة. قال  
الفيزيائي الانكليزي وليم براغ عام 1921 مازحاً: "نحن ندرس النظرية  
الموجية ايام الاثنين والاربعاء والجمعة، وندرس النظرية الجسيمية ايام  
الثلاثاء والخميس والسبت".

كان استشراف براغ رائعاً. وللأسف لم يكن كافياً لحفظ الفيزياء  
من الكارثة. فكما أدرك اينشتاين في البداية، إن الطبيعة الموجية -  
الجسيمية المشتركة للضوء كانت كارثة. فهي لا تستحيل رؤيتها فقط بل  
إنها غير متطابقة مع كل الفيزياء التي مرت من قبل.

### التلويح باليد لتوديع الدقة

اقترب من شباك. إذا نظرت إليه عن قرب يمكنك أن ترى انعكاساً  
باهتاً لوجهك. والسبب ان الزجاج ليس شفافاً تماماً. انه يسمح بمرور  
95% من الضوء الساقط عليه بينما يعكس ما تبقى؛ أي 5% منه. فإذا  
اعتبر الضوء موجة، فهذا أسهل تماماً للفهم.

وببساطة أشد تنقسم الموجة إلى موجة كبيرة تنفذ من النافذة،  
وأخرى أكثر صغراً ترتد للخلف. والآن فكّر قليلاً في تقوس الموجة  
الناتجة عن قارب ماء سريع. فإن صادف ان مجدف القارب نصفه  
مغمور في الماء، فالجزء الأكبر من الموجة سيواصل طريقه، بينما  
يرتد جزء صغير عن نفسه.

وهذا الشيء سهل الفهم إذا عبّرنا عن الضوء بالموجة. ومن  
الصعوبة بمكان ان نفهم ان الضوء سيل من الجسيمات المتماثلة الشبيهة

بالرصاص. وبعد كل هذا، فإذا كانت الفوتونات متماثلة، فهذا يبرر كيف أن كل فوتون ينفذ من النافذة أو يرتد عنها بطريقة متماثلة. وكذلك فكر باللاعب الانكليزي ديفيد بيكهام عندما يضرب الكرة مرة ومرات أخرى. فإذا كانت كرات القدم متماثلة، واستطاع بيكهام ان يضرب كل واحدة منها بنفس الطريقة، فكل الكرات ستدور في الهواء وتضرب بنفس البقعة في مؤخرة الهدف. ومن الصعب التصور بأن أغلب الكرات ستطر الهدف بنفس المكان بينما القليل منها يذهب بعيداً عند علم الزاوية.

كيف؟ ومتى؟ وهل من الممكن ان سيقاً من الفوتونات المتماثلة بالضبط يرتطم بالنافذة فتنفذ منها 95% عبر النافذة بينما ترتد 5% نحو الخلف؟ اينشتاين يقول إن هناك طريقة واحدة: إذا كان لكلمة متماثلة معانٍ مختلفة في عالم المجهریات في عالمنا اليوم ليزيل ويقطع المعنى.

ففي عالم المجهریات، يدور بالبال ان الأشياء المتماثلة لا تسلك نفس الطريق في ظروف متماثلة. وبدلاً من ذلك، فلها فرصة متماثلة للسلوك في طريقة خاصة. فكل فوتون يصل إلى النافذة لديه فرصة بأن ينفذ كأی فوتون بنسبة 95% ونفس الفرصة ليرتد بنسبة 5%. وليست هناك طريقة لتعرف بالضبط ما الذي يحدث للفوتون. فسواء نفذ أو ارتد عن النافذة فهو خاضع تماماً للفرصة العشوائية.

وفي مطلع القرن العشرين، كانت قابلية اللاتوقع شيئاً شاذاً وجديداً في العالم. تصور عجلة لعبة الروليت وارتجاج الكرة عند دوران العجلة. فالتفكير ينصبّ على عدد الكرات المستقرة عند إيقاف العجلة بحركة غير متوقعة، وغير متاسقة. ولكنها ليست ابدأً كذلك. وإذا كان من الممكن معرفة المسار المنحني الاولي للكرة، والسرعة الابتدائية للعجلة، ومسار تيارات الهواء التي تتغير من حين لآخر في الملهى،

وغيرها، عندئذٍ تستطيع قوانين الفيزياء التوقع 100% أين سستقر الكرة في النهاية. ويحصل نفس الشيء مع قذف العملات المعدنية. فإذا كان ممكناً معرفة السرعة المطبقة لقلب العملة المعدنية، وشكل العملة، وغيرها، فإن قوانين الفيزياء بالتأكيد ستتوقع بنسبة 100% ما إذا كانت العملة سستقر على الوجه الأول أم الثاني.

فلا شيء غير قابل للتوقع في عالماً، ولا شيء عشوائي تماماً. والسبب في أنه لا يمكن توقع نتيجة لعبة الروليت أو قذف القطعة المعدنية، هو أنه ببساطة لا بد من الأخذ بالحسبان معلومات كثيرة جداً للقيام بذلك. لكن مبدئياً - وهذا مفتاح الحل - لا شيء هناك يمنعنا من التوقع بكلا الشئيين.

وهذا تناقض مع العالم المجهرى للفوتونات. فلا يهتم تجاهل مقدار المعلومات التي نملكها. فحين المستحيل توقع ما إذا كان الفوتون سينفذ من النافذة أم سيرتد عنها من ناحية المبدأ. فإن كرة الروليت تدور لسبب ماء، وهو تفاعل عدد من القوى الدقيقة. اما الفوتون فيتحرك دون سبب إطلاقاً. وإن قابلية عدم التوقع في العالم المجهرى أساسية، وهذا صحيح بعض الشيء أمام العيان.

وما هو صحيح بالنسبة للفوتون يصح أيضاً بالنسبة لكل سكان العالم المجهرى. فالقنبلة تنفجر لأن ساعة التوقيت تخبرنا بذلك، أو لأن التذبذبات أحدثت اضطراباً، أو لأن عبوتها الكيميائية أصبحت فجأة بغير حالتها الاعتيادية. والذرة غير المستقرة أو المشعة تنفجر بكل بساطة. وهناك فرق غير قابل للإدراك بتاتاً بين الذرة التي تنفجر في لحظتها أو تلك التي تنتظر عشرة ملايين سنة قبل أن تنفجرت إلى قطع متناثرة.

لقد حصل اينشتاين على جائزة نوبل للفيزياء عام 1921 ليس لنظريته المشهورة حول النسبية بل لشروحاته حول الظاهرة

الكهروضوئية. وقد كان هناك اتفاق على ذلك من قبل لجنة تحكيم جائزة نوبل. اعتبر اينشتاين هو نفسه ان عمله حول الكمية هو الشيء الوحيد الذي فعله للعلم والذي يعتبر بحق عملاً ثورياً. فكان ان اتفقت لجنة التحكيم لجائزة نوبل معه تماماً.

ولدت النظرية الكمية ضمن كفاح التوافق بين الضوء والمادة. والتي امست بالأساس شاذة عن كل العلوم التي مضت من قبل. فقبل عام 1900، كانت الفيزياء وصفاً للتوقع بالمستقبل مع تأكيد جازم. فعندما يكون الكوكب في مكان ما اليوم، ففي يوم لاحق سيتحرك إلى مكان آخر، هذا التوقع محكوم عليه بنسبة 100% من التوافق مع قوانين نيوتن للحركة وقانون الجاذبية. وهذا يتناقض مع حركة الذرة عبر الفضاء. فلا شيء يمكن معرفته يقينياً، وكل الذي نستطيع فعله هو توقع مساره المحتمل وموقعه النهائي المحتمل.

وبينما تستند الكمية إلى الدقة، تستند بقية الفيزياء إلى اليقين. والقول بأن هذه مشكلة بالنسبة للفيزيائيين هو قليل من الاستهانة! لقد قال ريتشارد فاينمان: "الفيزياء تعطي حلاً لمشكلة ما، محاولة توقع ما الذي سيحدث في محيط ما". وقال أيضاً: "نحن نستطيع توقع الأمور الشاذة". على كل حال، ليس كل شيء مفقوداً. فإذا لم يكن بالإمكان التوقع في العالم المجهرى، فمن الممكن ان يكون حقلاً مملوءاً بالفوضى. ولكن الأشياء ليست بهذا السوء. فبالرغم من ان الدراسات وما شابهها جوهرياً غير قابلة للتوقع، فمن الممكن ان ذلك يؤدي على الأقل إلى أن تكون قابلة للتوقع.

### توقع غير قابل للتوقع

بالعودة إلى النافذة مرة أخرى، فكل فوتون له نسبة 95% للنفوذ من النافذة و5% للارتداد عنها. ولكن ما الذي يحدد هذه الاحتمالات؟

حسناً، الصورتان المختلفتان للضوء، الموجية والجسيمية، يجب أن تخرجا بنفس النتيجة. إذا كان نصف الأمواج يمر والنصف الآخر يرتد، فالشيء الوحيد للتوفيق بين الصفتين الموجية والجسيمية هو أن كل جسيم ضوئي مفرد يحتمل أن يمر بنسبة 50%، ويحتمل أن يرتد بنسبة 50%. وبطريقة مشابهة، فإن 95% من الأمواج تنفذ و5% ترتد، والاحتمالان المرافقان لذلك النفوذ والارتداد للفوتونات هما 95% و5% على التوالي.

وللحصول على توافق بين كلتا الرؤيتين للضوء، فالجانب الجسيمي للضوء يجب بطريقة ما أن يُعلم كيف يسلك بجانبه الموجي. وبتعبير آخر، في المجال المجهرى، الأمواج لا تسلك ببساطة سلوك الجسيمات، بينما تسلك هذه الأخيرة ببساطة سلوك الأمواج. وبالحقيقة، إلى حد ما، هذه العبارة هي كل ما تحتاجه لمعرفة النظرية الكمية (كجزء من تفاصيل قليلة). وكل شيء آخر لا يمكن تجنبه. لا بل إن كل الغرابة والثراء المدهش للعالم المجهرى هما نتيجة مباشرة لنشائية الجسيمة - الموجة في أحجار البنية الأساسية للحقيقة.

ولكن كيف يعلم الجانب الموجي للضوء بسلوك الجانب الجسيمي؟ هذا السؤال ليس من السهولة الاجابة عليه.

يبدو الضوء انه سيل من الجسيمات أو موجة. ونحن لا نرى على الإطلاق جانبي العملة المعدنية بنفس الوقت. ولهذا عندما نرى ان الضوء هو سيل من الجسيمات، فليس هناك موجة موجودة لتخبر هذه الجسيمات حول كيفية سلوكها. ولذا، فإن هناك مشكلة لدى الفيزيائيين في شرح حقيقة عمل الفوتونات - على سبيل المثال، طيرانها عبر النوافذ - فيما إذا وُجّهت عبر موجة.

لقد حلوا المشكلة بطريقة غريبة. فبغياص الموجة الحقيقية، تصوروا خلاصة موجة افتراضية (موجة رياضية). فإذا كان الأمر يبدو سخيفاً، فإن هذا أكثر ظرفاً من رد فعل الفيزيائيين عندما افترض



الفيزيائي النمساوي ايرون شرويدنغر في عام 1929 موجة رياضية تنتشر في الفضاء، وتواجه عقبات، وترتد عن النواخذ أو تنفذ منها، أشبه بموجة ماء منتشرة في بركة. ففي الأماكن حيث تكون الموجة كبيرة، يكون احتمال ايجاد الجسيمة كبيراً أيضاً، وبالعكس إذا كانت امكانها صغيرة فاحتمال ايجاد الجسيمات يكون صغيراً. وبهذه الطريقة، فإن موجة شرويدنغر للاحتتمالية لتعريف الدالة الموجية، تخبر الجسيمة ما الذي يجب عمله، وليس فقط الفوتون، بل أي جسيمة أخرى داخل الذرة مثل الإلكترون.

وهناك شيء من الرقة والطف. فالفيزيائيون يستطيعون ان يجعلوا من رؤية شرويدنغر توافق الحقيقة إذا كان احتمال وجود الجسيمة في نقطة ما مرتبطاً بمربع ارتفاع أو سعة الموجة في تلك النقطة. وبمعنى آخر، إذا كان احتمال وجود الموجة في نقطة ما في الفراغ ضعف ارتفاعها في نقطة أخرى من الفراغ، فإن احتمال وجود الجسيمة هنا هو أربعة أضعاف احتمال وجودها في مكان آخر.

وفي الحقيقة، إن مربع احتمالية الموجة - وليست الموجة نفسها ذات المعنى الفيزيائي الحقيقي - هو الذي سبّب مناقشة حول ما إذا كانت الموجة شيئاً حقيقياً ومختبئاً تحت جلد العالم أو أنها فقط نصيحة رياضية ملائمة للمعادلات الرياضية. ان أغلب الناس وليس كلهم يفضلون الثانية.

إن احتمالية الموجة هامة وحاسمة لأنها تربط بين الجانب الموجي للمادة والأمواج المألوفة لكل الأنواع؛ من أمواج الماء ومروراً بالأمواج الصوتية، وانتهاء بالأمواج الزلزالية. وكل الأمواج تخضع لما يسمى معادلة الموجة. وهي المعادلة التي تصف كيفية التموج عبر الفضاء سامحة للفيزيائيين بالتوقع بارتفاع أو سعة الموجة في أي مكان وزمان. لقد كان ذلك نصراً لشرويدنغر الذي اوجد معادلة الموجة التي تصف السلوك المحتمل لموجة الذرات وشببيها.

وباستخدام معادلة شرويدنغر، فقد امكن تعيين احتمالية وجود الجسيمة في مكان ما بالفضاء وفي أي وقت. وفي لحظتها، استعملت المعادلة لوصف الفوتونات المصطدمة بزجاج النافذة، للتوقع باحتمالية 95% لايجاد فوتون على الجانب البعيد للزجاج. وبالحقيقة، يمكن استعمال معادلة شرويدنغر لتوقع احتمالية أي جسيمة، فوتون أو ذرة، أو أي شيء آخر يعمل عملهما. وهي تجهز الرابط الحاسم للعالم المجهرى، فاسحة المجال أمام الفيزيائيين لتوقع كل شيء يحدث هناك مع يقين يصل إلى 100% أو على الأقل مع اللادقة القابلة للتوقع!

الى أين يقود كل هذا الحديث عن احتمالية الموجات؟ حسناً، ان الأمواج تسلك سلوكاً جسيماً في العالم المجهرى، مما يقود إلى المجازفة بادراك ان العالم المجهرى يرقص على نغمات مختلفة عما هو موجود في العالم اليومي. لقد جمعت هذه النغمات بعشوائية غير قابلة للتوقع. لقد كان ذلك بحد ذاته صدمة، وعاصفة زعزعت ثقة الفيزيائيين واعتقادهم بما يمكن توقعه بشكل منتظم. ولكن يبدو هذا الأمر هكذا في البداية فقط. والطبيعة مليئة بالصددمات في جعبتها. حقيقة ان الأمواج ليست فقط تسلك سلوكاً جسيماً، بل أيضاً أن هذه الجسيمات تسلك سلوكاً موجياً تقودنا إلى ادراك ان كل الأشياء الموجية المألوفة مثل موجات المياه وموجات الصوت تستطيع العمل جيداً باحتمالية الأمواج لتخبر عن سلوك الذرات والفوتونات وفصائلهما.

ولكن ماذا بعد؟ فالأمواج هي أكثر من مروعة بالنسبة لأشياء مختلفة. وبالتالي فإن لكل من هذه الأشياء نتائج شبه معجزة في العالم المجهرى. والأمواج في اتجاه امامي واحد يمكن أن توجد في أماكن متماثلة. والملاحظ، أنه يمكن للذرة ان تكون في مكانين في وقت واحد، وهو ما يكافئ وجودك في لندن ونيويورك في نفس الوقت.

### 3

## الذرة الانفصامية

كيف يمكن للذرة ان تكون في أماكن مختلفة  
وتؤدي اعمالاً متنوعة بنفس الوقت

تصور الفرق بين العداد واسرع حاسوب محسّن في العالم، ولم تزل لديك  
ادنى فكرة حول كم هي قدرة الحاسوب الكمي مقارنة باجهزة الحاسوب  
الموجودة اليوم.

جوليان براون

انه العام 2041. يلعب صبي بالحاسوب في غرفة نومه. انه ليس  
جهاز حاسوب عاديّاً، انه حاسوب كمي. أعطى الصبي للحاسوب  
واجباً... وفي لحظتها تجزأ إلى آلاف الآلاف من الاصدارات لنفس  
الواجب، وكل إصدار يعمل على جهة منفصلة من المسألة. وبالنهاية  
وبعد ثوان معدودة، عادت تلك الاصدارات معاً وومضت بإجابة واحدة  
على شاشة الحاسوب. انه جواب تحتاج فيه أجهزة الحواسيب العادية في  
العالم أن توضع كلها مع بعضها لترليون الترليونات من السنين حتى تجد  
الحل. مقتنعاً، أطفأ الصبي الحاسوب، وذهب للعب بعد أن أنهى فرضه.

وبالتأكيد لا يوجد حاسوب من الممكن أن يؤدي ما قام به حاسوب  
الصبي من عمل؟ وليس الحاسوب الذي يقوم بعملية النسخ المعتاد عليه

اليوم. فالشيء الوحيد للنزاع الحقيقي هو ما ان كان الحاسوب الكمي يشبه في سلوكه اضعافاً مضاعفاً للحواسيب الضخمة، أو ما إذا استغلت بالفعل قدرة الحاسوب على نسخ الحساب بنسخ عديدة في موازاة الحقائق والعوالم.

مفتاح الملكية للحاسوب الكمي - القدرة على عمل حسابات عديدة في آن واحد - يتبع مباشرة شيئين هما الأمواج والجسيمات المجهرية، مثل الذرات والفوتونات التي تسلك سلوك الموجة، والتي يمكن رؤيتها في أمواج المحيط.

ففي المحيط هناك الأمواج الكبيرة والموجات الصغيرة. ولكن أي شخص يمكن أن يشاهد حالة البحر في يوم عاصف، يرى أمواجاً كبيرة متلاطمة وموجات صغيرة متراكبة على بعضها. هذه هي الصفة العامة لكل الأمواج. فإذا كانت هناك موجتان مختلفتان، فيمكن دمج أو تركيب الأمواج مع بعضها. وحقيقة، ان صفة تراكب الأمواج موجودة وهي جميلة وغير مؤذية في كل يوم. وعلى كل حال ففي عالم الذرات وما تحتويه، إن آثارها ليست بالمهولة.

نعود للتفكير بالفوتون الذي يصطدم بزجاج النافذة. فالفوتون اخبر ما الذي يجب القيام به باحتمالية الموجة، والموصوفة بمعادلة شرودينغر. فالفوتون اما ان ينفذ أو يرتد عن النافذة. ومعادلة شرودينغر تسمح بوجود الموجتين. واحدة موافقة للفوتون المار عبر النافذة والأخرى موافقة للفوتون المرتد إلى الخلف. ولا توجد هنا مفاجأة، فإذا سمح للموجتين بالوجود، فعندئذٍ يسمح للموجتين ان تتراكبا. وليس غريباً ان تتراكب موجتا البحر مثلاً. لكن التراكب هنا يتبع شيئاً استثنائياً تماماً، والفوتون له صفتان: نافذة أو مرتدة. وبتعبير آخر، ممكن للفوتون ان يكون على كلا الجانبين من النافذة بالوقت نفسه!

وهذه الصفة التي لا يمكن تصديقها لا يمكن تجنبها من خلال حقيقتين: الفوتونات توصف بأنها موجات، وتراكب الأمواج بات ممكناً. هذا ليس خيلاً نظرياً. وتجريبياً، يمكن ملاحظة الفوتون أو الذرة في مكانين في آن واحد (وعلى نحو أكثر دقة، يمكن ملاحظة نتائج الفوتون أو الذرة في مكانين في آن واحد). وهكذا، لا يوجد حد لعدد الأمواج المتراكبة، فالفوتون أو الذرة يمكن لهما ان يكونا في ثلاثة أماكن، أو عشرة أماكن، أو حتى مليون مكان في آن واحد. لكن احتمالية مشاركة الموجة مع الجسيمة المجهرية أكبر من إبلاغها أين يمكن أن تكون الموجة. إذ تخبر الجسيمة عن سلوكها في كل الظروف؛ على سبيل المثال، ما إن استطاعت النفاذ عبر زجاج النافذة أو الارتداد عنه أو لم تستطع. فالنتيجة، ان الذرات وما شابهها لا يمكن أن تكون في أماكن مختلفة في آن واحد، وان تعمل أشياء عديدة في آن واحد. ما يكافئ تنظيفك للمنزل، وتمشية الكلب، والتسوق الأسبوعي كلها في وقت واحد. هذا هو السر خلف القدرة الضخمة للحاسوب الكمي. انه يستغل قدرة الذرات على عمل أشياء عديدة وحسابات كثيرة في آن واحد.

### عمل أشياء عديدة في آن واحد

العناصر الأساسية للحواسيب التقليدية هي الترانزستور. فلها جهذان مختلفان أحدهما يمثل الرقم الثنائي 0 والآخر يمثل 1. ان صفاً من الازفر والأحاد يمثل رقماً كبيراً حيث يمكن اضافته للحاسوب، أو طرحه أو مضاعفته أو قسمته على رقم كبير آخر<sup>(1)</sup>. ولكن تلك

(1) الرقم الثنائي اكتشف في القرن السابع عشر من قبل الرياضي كوتفريد لايبنتس. وهي طريقة تمثيل الأرقام بسلسلة من الازفر والأحاد. وعادة ما نستعمل رقماً عشرياً أو أجزاء العشرة. فالرقم على الجانب الأيمن يمثل الأحاد، والذي يليه

العناصر الأساسية في الحاسوب الكمي عبارة عن ذرات مفردة مكونة من حالات متراكبة. وبمعنى أدق، عبروا عن الصفر والواحد آنياً. ولتمييزها عن القطع الاعتيادية، أطلق الفيزيائيون عليها اسم كيانات القطع الكمية الانفصامية أو القطع الكمي.

فالقطع الكمية يمكن أن تكون في حالتين (0 أو 1)، والقطعتان الكميتان يمكن أن تكونا في أربع حالات (00 أو 01 أو 10 أو 11) والثلاث قطع في ثماني حالات وهكذا. وبالنسبة عندما تحسب بقطعة كمية مفردة، يمكن أن تؤدي عمليتين حسابيتين آنيتين. وحين تحسب بقطعتين كميتين، تؤدي أربع عمليات حسابية، أما حين تحسب بثلاث قطع كمية فتؤدي ثماني عمليات وهكذا. وإذا لم يتأكد لك، فمع 10 قطع كمية هناك 1,024 عملية حسابية، ومع 100 قطعة كمية تحسب المليارات والمليارات والمليارات، أليس هذا مذهلاً؟ فالفيزيائيون انهمكوا لفهم مضمون الحاسوب الكمي. ولبعض الحسابات تفوقوا بسرعة على الحسابات التقليدية، ما جعلهم يرمون الحواسيب الشخصية خلف ظهورهم.

ولكي يهمل الحاسوب الكمي، يحتاج تراكب الأمواج إلى محتوى موجي أساسي هو التداخل. وأول من لاحظ التداخل هو توماس يونغ في القرن الثامن عشر، وكان التداخل المفتاح لاقتناع كل شخص بأن الضوء عبارة عن موجة. ومع مطلع القرن العشرين، شوهد الضوء في سلوكه مشابهاً سلباً من الجسيمات، حسب تجربة شق يونغ التي افترضت شيئاً هاماً جديداً وغير متوقع، ما يعني كشف الميزة المركزية للعالم المجهرى.

---

يمثل العشرات، والذي يليه يمثل المئات  $10 \times 10$  وهكذا. فمثلاً 9,217 تعني  $7 + 10 \times 1 + 2 \times (10 \times 10) + 9 \times (10 \times 10 \times 10)$ . أما في الرقم الثنائي أو أجزاء 2، فالرقم 1,101 يعني  $1 + 2 \times 0 + 1 \times 2 + 2 \times 2$   $1 \times (2 \times 2 \times 2)$ ، ما يعادل بالأعداد العشرية 13.

## التداخل في السماء

في التجسيد الحديث لتجربة يونغ، أضيء الشق المزدوج على الشاشة المعتمدة بالضوء، والذي اعتبر بشكل لا ينكر بأنه سيل من الجسيمات. وعملياً يعني استعماله مصدراً ضعيفاً للضوء حيث يمكن للفوتونات ان تظهر في وقت واحد. وهناك كشافات حساسة في أماكن مختلفة على الشاشة الثانية تحسب وصول الفوتونات. وبعد التجربة اتضح لبعض الوقت ان الكشافات تبين أشياء ملحوظة.

فبعض الأماكن ترصعت بالفوتونات، أما في بعضها الآخر فلا يوجد أثر للفوتونات بتاتاً. وما هو أكثر من ذلك أن الأماكن التي تظهر عليها آثار الفوتونات وتلك التي لا تظهر عليها آثار الفوتونات تتناوب، مشكلة خطوطاً مستقيمة وعمودية، وهذا بالضبط ما يحدث في تجربة يونغ الأصلية.

لكن انتظر دقيقة! حزم الضوء والظلام في تجربة يونغ تسبب التداخل. والسمة الأساسية للتداخل تتضمن خلط موجتين من نفس المصدر، ضوء من شق واحد مع ضوء من شق آخر. ولكن في هذه الحالة تأتي الفوتونات عبر الشقين كل على حدة، وكل فوتون هو بالضبط وحده، ولا يختلط مع فوتون آخر. إذاً كيف يحدث التداخل؟ وكيف أستطيع معرفة الأماكن التي ستخط فيها الفوتونات؟

هنا على ما يبدو ليس هناك سوى طريقة واحدة، أي بأن يعبر كل فوتون بطريقة ما كلا الشقين آنياً. عندئذ يمكن أن تتداخل الفوتونات مع بعضها. وبمعنى آخر، كل فوتون يجب أن يكون عبارة عن تراكب حالتين، إحداها موجة متطابقة مع الفوتون النافذ عبر الشق الأيسر والأخرى هي موجة متطابقة مع الفوتون النافذ عبر الشق اليمين.

ان تجربة الشق المزدوج ممكن عملها باستخدام الفوتونات أو الذرات أو أي من الجسيمات المجهرية. ويمكن التوضيح بيانياً سلوك

كل الجسيمات؛ فيما إذا استطاعت أو لم تستطع ان تصل إلى الشاشة الثانية والمذبذبة لنظرتها الشبيهة بالموجة. لكن هذا ليس توضيحاً لتجربة الشق المزدوج. وبشكل حاسم، فالموجات الفردية التي تتظاهر بالترابك لتتداخل مع بعضها البعض هي المفتاح المطلق للعالم المجهرى، وتعتبر غاية في غرابة الظواهر الكمية.

الآن خذ حواسيب كمية، حيث يمكن عمل حسابات عديدة في آن واحد بسبب وجود تراكب حالات. فمثلاً، عشرة عناصر حاسوب كمي تساوي 1,024 حالة، وبالإمكان إنجاز 1,024 عملية حسابية في وقت واحد. لكن بالتأكيد كل الجوانب المتوازية للحساب لا تستعمل ما لم تُنسخ مع بعضها. والتداخل هو الوسيلة التي تحقق ذلك. أي تحقق 1,024 حالة تراكب، والتي تستطيع التفاعل والتداخل مع بعضها البعض. وبسبب التداخل، فالجواب الوحيد للحاسوب الكمي هو القدرة على عكس وتحليل ما الذي حدث في الـ 1,024 عملية حسابية متوازية.

فكر في مسألة مجزأة إلى 1,024 قطعة منفصلة، وهناك شخص واحد يعمل على كل قطعة. فلحل هذه المسألة يستلزم 1,024 شخصاً عليهم الاتصال فيما بينهم وتبادل النتائج. هذا هو التداخل الذي يصنع الممكن في الحاسوب الكمي.

والنقطة المهمة القيمة هنا هي انه بالرغم من ان التراكبات هي السمة الأساسية للعالم المجهرى، فاللافت للنظر انه لا يوجد شيء ممكن ملاحظته اطلاقاً. وكل الذي نراه دوماً هو نتائج وجود التراكبات، فما هي النتائج؟ ومتى تتداخل الأمواج الانفرادية مع بعضها البعض؟ ففي حالة تجربة الشق المزدوج، مثلاً، كل الذي نراه هو نموذج التداخل، فنستنتج بأن الإلكترون كان في تراكب، بحيث ذهب من خلال الشقين آنياً. وانه لمن المستحيل فعلياً الإمساك بالإلكترون وهو يمر من خلال



كل من الشقين في آن واحد. هذا ما قصدناه بالعبارات المبكرة بأنه من الممكن فقط مراقبة نتائج الذرة في مكانين في آن واحد، وليس كونهما فعلياً في مكانين بآن واحد.

## الكونية

كانت القابلية المميزة للحواسيب الكمية لعمل اعداد ضخمة من الحسابات في وقت واحد محيرة. وعلاوة على ان الحواسيب الكمية العملية هي فعلياً في مرحلة ابتدائية، فعلاجها فقط بمقدار ضئيل من القطع الكمية، ومع ذلك يمكن تخيل حاسوب كمي يؤدي عمل مليارات وتريليونات أو كوادريونات من الحسابات في وقت واحد. وبالحقيقة من الممكن خلال 30 أو 40 سنة إنشاء حاسوب كمي لعمل حسابات أكثر في وقت واحد من الجسيمات الموجودة في الكون. هذه الوضعية الافتراضية ابرزت السؤال الصعب: أين سيؤدي مثل هذا الحاسوب حساباته؟ وبعد ذلك، إذا كان بإمكان مثل هذا الحاسوب أن يقوم بحسابات كثيرة في وقت واحد أكثر من عدد الجسيمات في الكون، فإن سبب هذا يعود إلى أن الكون لديه مصادر حسابات غير كافية ليقوم بها.

وأحد الاحتمالات الفريدة التي تزودنا بحل هذا اللغز، هو ان الحاسوب الكمي يؤدي حساباته في كونية وحقائق متوازية. هذه الفكرة ترجع إلى الطالب الخريج من برنستون الذي يدعى هيوغ ايفيرت الثالث. ففي عام 1957، تساءل لماذا يمكن للنظرية الكمية ان تقدم وصفاً براقاً للعالم المجهرى للذرات بينما لا تستطيع فعلياً رؤية التراكبات. وجوابه اللافت للنظر هو ان كل حالة تراكب موجودة في واقعية مفصولة تماماً. وبكلمات أخرى، هناك العديد من الحقائق (كونية)، حيث ان كل الأحداث الكمية يمكن حدوثها.

وبالإضافة إلى أن إيفيرت اقترح فكرة عوالم عديدة قبل اختراع الحواسيب الكمية، فقد اسقط بعض الضوء عليها. وطبقاً لفكرة العوالم العديدة، عندما تعطى مسألة للحواسيب الكمية، فإنها تنشق نفسها باصدارات أو نسخ متعددة؛ وكل واحدة بحقيقة منفصلة. وهذا هو السبب في أن الحاسوب الكمي الشخصي للصبي المذكور في بداية هذا الفصل، يتشعب إلى نسخ عديدة. وكل نسخة من الحاسوب تعمل على جدلية المسألة، والجدليات تجلب معاً بالتداخل؟ وحسب رؤية إيفيرت، فإن التداخل له أهمية خاصة جداً. فهو الجسر الهام بين الاكوان المنفصلة، والوسائل التي بها تتفاعل وتؤثر بعضها على البعض الآخر.

صراحة لم تكن لدى إيفيرت أي فكرة حول موقع كل الاكوان المتوازية، ولم يكن من مناصري من يعمل بفكرة العوالم الحديثة. اما دوغلاس ادامز فقد قال بسخرية في دليل المسافرين إلى الكون: "هناك شيئان يجب تذكرهما عندما تتعامل مع الاكوان المتوازية. الأول انها ليست متوازية حقيقة، والثاني هي ليست اكواناً حقيقية!"

وبالرغم من هذا الارباك، وبعد مرور نصف قرن على فكرة إيفيرت عن العوالم العديدة، تخضع هذه الفكرة لارتفاع مفاجئ في شعبيتها. وبازدياد عدد الفيزيائيين فإن أهمهم وهو ديفيد دويتش من جامعة اوكسفورد، أخذ الأمر على محمل الجد. وكما قال دويتش في كتابه صناعة الحقيقة: "النظرية الكمية برزت من اعتبارات لغزية. انه التفسير - الوحيد الذي من الممكن الدفاع عنه- لحقيقة قابلة للملاحظة أو لاحدية".

إذا سرت قدماً مع دويتش، وفكرة أن العوالم المتعددة تتوقع بالضبط بنفس النتائج لكل تجربة يمكن تصورهما كأكثر التفسيرات الملائمة للنظرية الكمية فإن الحواسيب الكمية تبدو بالأساس جديدة تحت الشمس، والتي تعتبر المكينات البشرية الأولى المبنية على استغلال

مصادر الحقائق المتعددة. وحتى لو لم تؤمن بفكرة العوالم المتعددة، فإنها تعطي طريقة بسيطة وحسية لتصور ما الذي يستمر في العالم الكمي اللغزي. فمثلاً، في تجربة الشق المزدوج، ليس من الضروري تخيل فوتون واحد يذهب من خلال كل من الشقين في وقت واحد ويتداخل مع نفسه. وبدلاً من ذلك، فالفوتون الذي يذهب من خلال شق واحد يتداخل مع فوتون آخر يمر من الشق الآخر. لكن ربما نتساءل: ماذا عن الفوتون الآخر؟ الفوتون هو كون مجاور، بالتأكيد!

### لماذا فقط الأشياء الصغيرة كمية؟

إن بناء الحواسيب الكمية صعب جداً والسبب هو قابلية الحالات الانفرادية للتراكم الكمي لتتداخل مع حالات أخرى مدمرة، أو ملغية بفعل المحيط. هذا التدمير يُرى بشكل واضح في تجربة الشق المزدوج.

إن بعض أنواع كشف الجسيمات استعملت لتلتقط جسيمة مارة من خلال أحد الشقوق، أما خطوط التداخل على الشاشة فتتلاشى على الفور، وتستبدل بإضاءة منتظمة أكثر أو أقل. فإن مراقبة أي شق يمكن للجسيمة أن تمر منه هي كل ما نحتاجه لتدمير التراكب بمرورها خلال الشقين في وقت واحد. إن مرور الجسيمة من خلال شق واحد فقط يشبه رسم التداخل؛ كما لو أنك تسمع صوت تصفيق يد واحدة.

إن ما حدث حقيقة هنا، هو محاولة لايجاد مكان أو لقياس الجسيمة من قبل العالم الخارجي. إن معرفة التراكب من قبل العالم الخارجي هو كل ما يُحتاج لتدمير التراكب. وهو هكذا على الأغلب إذا اعتبرت التراكبات الكمية سراً. وبالتأكيد متى ما عرف العالم السر، فالسر لا يبقى له وجود!

فالتراكبات هي تواصل يمكن قياسه من محيطه. فإننا بحاجة فقط إلى فوتون واحد لطرد التراكب واخذ المعلومات لتدميره. هذه العملية للقياس الطبيعي تسمى التشتت. وهذا هو السبب الرئيسي بأننا لا نرى سلوكاً كمياً عاثراً في عالم اليوم<sup>(2)</sup>. بالإضافة إلى ذلك، إننا نفكر بالسلوك الكمي كصفة للأشياء الصغيرة مثل الذرات وليس كصفة للأشياء الكبيرة مثل الناس والأشجار. والصفة الكمية هي بالفعل صفة الأشياء المعزولة. والسبب في أننا نراها في العالم المجهرى وليس في عالم اليوم هو أنه من الأسهل عزل الأشياء الصغيرة عن محيطها بدلاً من الأشياء الكبيرة.

إن ثمن الانفصام الكمي هو العزل. وما دامت الجسيمة المجهرية كالذرة التي تبقى معزولة عن العالم الخارجى، فهي يمكن أن تعمل أشياء مختلفة في آن واحد. وهذه ليست صعبة في العالم المجهرى، حيث إن الانفصام الكمي هو ظاهرة يومية. وعلى كل حال، ففي عالم المقياس الكبير الذي نعيش فيه، إنه مستحيل تقريباً - مع ما لا يحصى من كوادريونات من الفوتونات - أن ترتد عن كل شيء في كل ثانية.

إن حفظ الحاسوب الكمي معزولاً عن محيطه هو العقبة الرئيسية التي تواجه الفيزيائيين في محاولة لبناء هذه الآلة. وحتى الآن، فالحاسوب الكمي الأكبر الذي خطط الفيزيائيون لبنائه مؤلف من عشر ذرات فقط ويخزن عشر قطع كمية. وإن حفظ الذرات العشر معزولة عن محيطها لأي مدة زمنية يأخذ كل إبداعاتهم. فالفوتون المفرد يرتد عن الحاسوب، والذرات العشر الانفصامية تصبح على الفور عشر ذرات اعتيادية.

---

(2) أنا مدرك تماماً بأن كل هذا الحديث عن الكمية بأنها سرية يدمر إذا علم بقية العالم أنه مجرد تلاعب. لكنه كاف لنقاشنا هنا. والتشتت وهو وسيلة في العالم الكمي مع تراكيبه الانفصالية، يصبح العالم اليومي حيث إن الأشجار والناس لا يكونان في مكانين بآن واحد، مما يمكن حشرة الدود من مواصلة المصارعة. لشرح حقيقي، انظر الفصل الخامس، "الكون التخاطري".

ان التشتت يوضح حدود الحاسوب الكمي، وليس شرطاً ان يتفاعل مع الوسط المحيط به من الاجهزة. وبالضرورة سوف يدمر التراكب. إن الحاسوب الآلي يرجع إلى كونه حاسوباً اعتيادياً في حالة مفردة. فآلة العشر قطع الكمية، بدلاً من ان تعطي الاجوبة لـ 1,024 عملية حسابية مفصولة، يمكن أن تعطيها بأن واحد.

كما ان الحواسيب الكمية المقيدة لحسابات متوازية تعطي في النتيجة جواباً واحداً. إذاً، فقط عدد محدود من المسائل مناسب للحل باستخدام حواسيب كمية، مما يتطلب الكثير من الإبداع. فمتى ما وجدت المسألة لتلعب مع قوة الحاسوب الكمي، كانت أفضل من الحاسوب العادي بشكل كبير، حيث يحسب في ثوان ما يكتسبه الآخرون في وقت أطول من عمر زمن الكون.

وعلى الجانب الآخر، فالتشتت هو ما يميز بناء الحواسيب الكمية. وبسبب التشتت يكون التراكب العملاق للحاسوب الكمي مع كل جوانب تداخله التبادلي مدمراً نهائياً. فقط القول انه مدمر، اختزل إلى حالة مفردة. ان عالم الكم هو بالحقيقة عالم المفارقة.



## اللاذقة وحدود المعرفة

لماذا لا نستطيع على الإطلاق معرفة كل ما نحب معرفته  
عن الذرة؟ بينما يمكن للذرات معرفة كل شيء

بمرورهم على الأرضية "الكمية"، التقى مسافرونا الكثير من الظواهر ذات  
الاهمية، مثل البهوضة الكمية، والتي يندر ان توجد نظراً لصغر كتلتها.

جورج كامو

يجب أن يذهب غاضباً. لحظات فقط قبل ان يوقف سيارته  
الفيكراري الحمراء اللامعة في المرآب. وقف هناك على الطريق  
مفتخراً ومتمتعاً حتى آخر لحظة ممكنة. أغلق الباب الآلي متأرجحاً.  
وبعد أن مشى قليلاً ليصل إلى الباب الأمامي للسيارة، كانت هناك  
نسمة هواء، وهزة أرضية، فالتفت حول نفسه راجعاً إلى الخلف في  
طريقه ليوافقه أبواب المرآب المغلقة، ويجد سيارته الفيكراري  
الحمراء الجميلة.

اشبهه بمفخرة هوديني للهروب التي لم ترَ إطلاقاً في عالم اليوم.  
ففي دنيا صغيرة جداً، هناك حدث مشترك. خلال لحظة واحدة، يمكن  
أن تكون الذرة في السجن المجهرى، وبعدها تتخلى عن القيود وتتزلق  
في صمت الليل.

القابلية العجيبة للهروب من سجون المقاومة تعود بالكامل إلى الصفة الموجية للجسيمة المجهولة، والتي تمكن الذرات ومحتوياتها من عمل كل شيء كما تفعل الموجات. وأحد الأشياء التي تقوم بها الموجات هو الاختراق الظاهري للحواجز المنيعه. وهذا ما يعرف بالصفة الموجية. لكن من الممكن شرحها بشعاع ضوئي يسافر خلال مبنى زجاجي ويحاول الهروب إلى الهواء خلف المبنى.

والشيء الأساسي هو الذي حدث عند حافة المبنى الزجاجي، الحد الذي يلتقي فيه الزجاج والهواء. فعندما يضرب الضوء ذلك الحد في زاوية صغيرة، فإنه يترد إلى المبنى الزجاجي ويفشل بالهروب إلى الهواء في الخلف. فالضوء مقيد في الزجاج. وعلى كل حال، تحدث بعض الأشياء المختلفة جداً إذا كان مبنى زجاجي آخر قريباً من الحافة، وتاركاً مسافة صغيرة بين المبنىين. وكما حدث من قبل، فبعض الضوء ينعكس راجعاً إلى الزجاج. ولكن - وهذا شيء حاسم - يقفز بعض من الضوء من المبنى الزجاجي الثاني.

فالتشابه بين سيارة الفيراري عند هروبها من المرآب وهروب الضوء من المبنى الزجاجي لا يبدو واضحاً جداً. فلكل الأغراض والنوايا، تكون فجوة الهواء حاجزاً منيعاً للضوء فقط كما تعمل جدران المرآب امام السيارة.

والسبب في أن موجة الضوء تخترق الحاجز وتهرب من المبنى الزجاجي هو أن الموجة ليست شيئاً محدداً بل هي شيء ينتشر عبر الفضاء. ولهذا عندما تضرب أمواج الضوء حد الزجاج-الهواء فإنها تترد إلى الزجاج. وبدلاً من ذلك، فإنها تخترق مسافة قصيرة من الهواء خلف المبنى. وبالنتيجة إذا التقت الموجات بمبنى زجاجي آخر قبل العودة إلى الخلف، فإنها تستمر في مواصلة طريقها. والآن حاول ان تضع مبنى زجاجياً ثانياً على مسافة شعرة واحدة من



المبنى الأول، فيقفز الضوء في فجوة الهواء ويفر إلى مقره الأول.  
ان قدرة الاختراق الظاهرة للحاجز المنيع هي صفة مشتركة لكل  
انواع الأمواج، ابتداءً من أمواج الضوء، ومروراً بأمواج الصوت، و  
وانتهاء بأمواج الاحتمالية المصاحبة للذرات. ولذلك فهي تبرهن ذاتها  
في العالم المجهرى. وربما معظم الامثلة المذكورة هي ظواهر انحلال  
جسيمات الفا عندما تخرج من سجنها في النواة الذرية.

## الخروج من النواة

جسيمة الفا هي نواة ذرة الهيليوم. إن النواة غير المستقرة أو  
المشعة، تنفلق في بعض الأحيان إلى جسيمة الفا في محاولة يائسة  
للعودة إلى نواة أخف وأكثر استقراراً. والعملية تظهر ارباكاً كبيراً،  
وبمعنى أصح، إن جسيمة الفا غير قادرة على الخروج من النواة.

فكر في اللعبة الاولمبية للرياضي الذي يقفز فوق السياج المعدني  
على ارتفاع 5 أمتار. فعلاوة على انه احسن رياضي قفز في العالم، الا  
انه ليس بإمكانه القفز أكثر من ذلك. ولا يوجد انسان لديه القدرة الكافية  
في سياق ذلك. حسناً، فجسيمة الفا داخل النواة الذرية تجد نفسها في  
حالة مشابهة. فالحاجز الذي يحبسها صنع بقوى نووية تعمل داخل  
النواة، فهي فقط حاجز منيع لجسيمة الفا يعمل كسياج معدني صلب  
للرياضي الذي يقفز.

وخلافاً لكل التوقعات، تعمل جسيمات الفا على الهروب من النواة  
الذرية. وهروبها يعود كلياً لسلوكها الموجي. مثل أمواج الضوء  
المحصورة في المبنى الزجاجي، والتي تخترق فيما يبدو الحاجز المنيع  
وتضيع تماماً في العالم الخارجي. هذه العملية تسمى النفق الكمي،  
وجسيمات الفا يقال عنها //نفق خارج النواة الذرية. والنفق هو أكثر

الظواهر العامة المعروفة باللاذقة، والتي تضع الحد الأساسي حول الذي بإمكاننا معرفته عن العالم المجهري، والذي لا يمكننا معرفته. وتجربة الشق المزدوج هي الأكثر توضيحاً لمفهوم اللاذقة.

### مبدأ اللاذقة لهايزنبرك

إن سبب كون الجسيمة المجهرية شبيهة بالإلكترون، وتستطيع المرور خلال كل من الشقين على الشاشة في آن واحد، هو أنها موجودة نتيجة تراكب موجتين، إحدى الموجات مطابقة للجسيمة المارة خلال أحد الشقين والثانية مطابقة لتلك التي تمر من الشق الثاني. لكن هذا غير كافٍ لضمان سلوكهما الانفصامي القابل للملاحظة. ولكي يحدث ذلك، يجب ظهور نموذج التداخل على الشاشة الثانية. ولكن ليحدث التداخل فهذا بالتأكيد يتطلب موجات انفرادية في تراكب الموجات. والحقيقة أن التداخل هو المحتوى الحاسم للإلكترون لعرض السلوك الكمي الغريب والذي ينتقل إلى تطبيقات عامة حول ما الذي تسمح لنا الطبيعة بمعرفته عن الإلكترون.

ونقل في تجربة الشق المزدوج اننا نحاول تحديد الشق الذي يمر منه الإلكترون. فإذا نجحنا، فنموذج التداخل على الشاشة الثانية سيختفي. وبعد كل هذا، فالتداخل يتطلب خلط كل من الشقين. فإذا مرّ الإلكترون واحتمالية مشاركة الموجة خلال شق واحد، فهناك سيكون شيء واحد.

عملياً كيف نحدد أي شق يمر من خلاله الإلكترون؟ حسناً، إن أسهل طريقة لرؤية ذلك هي في تجربة الشق المزدوج، والتفكير بالإلكترون كرصاصة أطلقت من مسدس، وبالشاشة كلوح معدني غليظ يحمل شقين عموديين متوازيين. فعندما تطلق الرصاصات على الشاشة

يدخل بعضها الشق ويمر خلاله. فُكّر بالشق كقناة عميقة حفرت في معدن غليظ. فالرصاصات المرتدة عن الجدران الداخلية للقنوات ستصل إلى الشاشة الثانية. وبوضوح ستضرب أي نقطة على الشاشة الثانية. ولكن ببساطة، تصور ان الرصاصات تنتهي في نقطة الوسط على الشاشة الثانية. وببساطة أيضاً، قل بأنه عند هذه النقطة فإن احتمالية الموجات المشاركة للرصاصات ستتداخل تداخلاً بناءً، ولهذا فهو المكان الذي ستبطله كثير من الرصاصات.

الآن، أين الرصاصات التي ترتد داخل الشق، والتي بسبب الشاشة المعدنية ترتد في الاتجاه المعاكس؟ إن نفس الشيء يحصل عندما تلعب التنس وترتد الكرة بشكل حاد وسريع عن مضربك. وهنا مضربك سيرتد بالاتجاه المعاكس. وبشكل حاسم، سيستعمل ارتداد الشاشة لاستنتاج أي شق مرت خلاله الرصاصات. بعد كل ذلك، إذا تحركت الشاشة يساراً، فالرصاصات يجب أن تذهب خلال الشق على الجانب الأيسر، وإذا تحركت يميناً، فعلى الرصاصات الذهاب من جهة اليمين.

وعلى كل حال، نحن نعرف أننا إذا حددنا أي شق تمر من خلاله الرصاصات، فهذا يدمر نموذج التداخل على الشاشة الثانية. وهذا توضيح مباشر لفهم وجهة نظر الموجة. وليس محتملاً ان نرى شيئاً يتداخل مع نفسه أو نسمع صوت تصفيق كف واحد. لكن كيف نحس بالأشياء من وجهة نظر جسيمة متساوية الصلاحية؟

تذكر بأن نموذج التداخل على الشاشة الثانية هو أشبه بمقر نقابة الحمامين. انها تتألف من خطوط عمودية لا أثر للرصاص فيها، متناوبة مع خطوط عمودية يظهر عليها اثر الرصاص. وببساطة، فُكّر بخطوط سوداء وبيضاء. ان مفتاح السؤال هو: من وجهة نظر الرصاصات، ما الذي يدمر نموذج التداخل؟

الجواب مزعج نوعاً ما. فإذا كانت كل رصاصة، بدلاً من طيرانها بشكل صائب باتجاه الخط الاسود، قد سلكت طريقاً جانبياً مزعجاً في طريقها نحو هدفها بحيث تستطيع ان تضرب إما الخط الاسود أو الخط الأبيض المجاور، فإن هذا سيكون كافياً لمسح نموذج التداخل. والخطوط التي تلوّنت بالأبيض سوف تسود، أما الخطوط السوداء فستبيض. والنتيجة الصافية ستكون رمادية منتظمة. عندئذٍ سيكون نموذج التداخل ممسوحاً.

وبما أنه يستحيل ان نعلم أي رصاصة معطاة سوف تضرب الخط الاسود أو الخط الأبيض المجاور (أو العكس بالعكس)، فالحركة الاضطرابية من جانب واحد لكل رصاصة ستكون غير قابلة للتوقع بالكامل. وكل هذا يأتي من مرور بدون سبب ومن غير تحديد مكان الشق الذي ستمر خلاله الرصاصة.

وبكلمات أخرى، إن التعليق على موضع الجسيمة مثل الإلكترون يضاف إلى الازعاج غير القابل للتوقع. والصحيح هو بالاتجاه المضاد. والتعليق على سرعة الجسيمة يجعل مكانها غير دقيق. فأول شخص أدرك وحدد نوعية هذا التأثير هو الفيزيائي الالمانى فيرنر هايزنبرك، ولذلك سمي المبدأ باسمه أي مبدأ اللادقة لهايزنبرك تشريفاً له.

وطبقاً لمبدأ اللادقة، فإنه يستحيل معرفة كل من المكان والسرعة للجسيمة المجهرية بدقة كاملة. وهنا ستكون مقايضة. فمكانها الأكثر دقة هو الزامى، والأكثر لادقة هو السرعة. وسرعتها الأكثر دقة هي إلزامية، والأكثر لادقة هو المكان.

تَصَوَّرْ أن هناك فرضاً عن ماذا تعرف في عالم اليوم. إذا كانت لدينا معرفة دقيقة لسرعة الطائرة النفاثة، فلن نكون قادرين على معرفة ما إذا كانت الطائرة فوق نيويورك أو لوس انجلس. وإذا كانت لدينا معرفة دقيقة لمكان الطائرة، فلن نكون قادرين على معرفة ان انطلقت

الطائرة بسرعة 1000 كم/ساعة أو 1 كم/ساعة، وحول هبوطها من السماء.

ان مبدأ اللادقة موجود لحماية النظرية الكمية. فإذا استطعت قياس صفات الذرات وما شابهها احسن مما يسمح به مبدأ اللادقة، فبالإمكان تدمير سلوكها الموجي، وعلى وجه الخصوص، التداخل. وبدون التداخل، ستكون النظرية الكمية مستحيلة. ان قياس مكان وسرعة الجسيمة بدقة عالية أكثر من قواعد مبدأ اللادقة يجب أن يكون مستحيلًا. وبسبب مبدأ اللادقة لهايزنبرك، حين نحاول أن نرى العالم المجهرى، يبدو وكأنه ضبابي؛ أشبه بصورة الجريدة التي تبدو مكبرة فوق العادة. والطبيعة لا تسمح لنا بالقياس الدقيق لكل شيء نرغب بقياسه. وهناك حدود لمعرفةنا.

هذا الحد ببساطة ليس مراوغة لتجربة الشق المزدوج. فهو أساسي. وكما لاحظ ريتشارد فاينمان: "لا يوجد أحد يجد دائماً (أو يفكر) طريقة حول مبدأ اللادقة. ولا أحد يشبه ذلك".

هذا بسبب ان جسيمات الفا لها صفة موجية تستطيع الهروب على ما يبدو من سجن النواة الذرية. وعلى كل حال، فمبدأ اللادقة لهايزنبرك يجعل من الممكن فهم الظواهر من وجهة نظر جسيمية.

### **فعل ما لم يفعله رياضي القفز العالي من قبل**

بالعودة إلى ما سبق، إن جسيمة الفا في النواة هي أشبه بالرياضي الاولمبي للقفز العالي المحبوس بسياج ارتفاعه 5 أمتار. تقول الأحاسيس المشتركة انها تتحرك داخل النواة وبسرعة غير كافية لتبدأ القفز عبر الحاجز. لكن تلك الاحاسيس المشتركة مطبقة فقط في عالم اليوم، وليس في العالم المجهرى. والمتورط في السجن النووي، هو جسيمة الفا والتي

تكون في الفضاء، ومكانها الزامي بدقة عالية. وطبقاً لمبدأ اللادقة لهايزنبرك، فإن السرعة بالضرورة تتسم باللا دقة. وبالإمكان ان تكون أكثر مما نعتقد. وإذا كانت كذلك، فهناك تناقض لكل التوقعات، فجسيمة الفا من الممكن ان تقفز من النواة، وهي جديرة بالمقارنة مع رياضي القفز العالي الذي يقفز فوق سياج ارتفاعه 5 أمتار.

ان جسيمات الفا تخرج إلى العالم من سجنها أكثر دهشة مما تكون عليه سيارة الفيراري التي تخرج من مرآبها إلى العالم. وهذا النفق يعود لمبدأ اللادقة لهايزنبرك. والنفق هو عملية ذات طريقتين. ولا تخرج الجسيمات الذرية الفرعية كجسيمات ألفا من النواة فقط، بل يمكنها العودة إليها (النواة) أيضاً. والحقيقة، فإن هذا النفق هو عكس ما يساعد على فهم الغموض الكبير: لماذا تشرق الشمس؟

### حفر النفق في الشمس

الشمس تولد الحرارة بدمج البروتونات مع بعضها - نوى ذرات الهيدروجين - لصنع نواة ذرة الهيليوم<sup>(1)</sup>. والاندماج النووي يُنتج ما يشبه انفجار سد من الطاقة الرابطة النووية، والتي تبرز نهائياً من الشمس على شكل ضوء.

لكن الاندماج النووي لديه مشكلة. ففوة التجاذب لدمج البروتونات، القوة النووية القوية، لديها مدى قصير جداً. فلكي يكون بروتونان في الشمس تحت تأثير الشمس ومضغوطين مع بعضهما، يجب أن يكونا قريبين من بعضهما البعض. لكن هذين البروتونين، بما يتمتعان به من شحنتين كهربائيتين متشابهتين يتنافران بشكل شرس. وللتغلب على هذا التنافر العنيف، فالبروتونان يجب أن يصطدما بسرعة كبيرة. وعملياً

---

(1) انظر الفصل الثامن،  $E=mc^2$  ووزن شروق الشمس.

يتطلب هذا العمل في قلب الشمس، حيث يتواصل الاندماج النووي، ليكون تحت تأثير درجة حرارة عالية جداً.

حسب الفيزيائيون هذه الحرارة عام 1920، عندما توقعوا ان الشمس تتواصل في الاندماج النووي، فوجدوها مقاربة لـ 10 مليارات درجة تقريباً. وعلى كل حال مثل هذا مشكلة. فالحرارة في قلب الشمس معروفة بأنها تبلغ حوالى 15 مليون درجة؛ أي أنها تقريباً أقل بألف مرة. ولكن الاصح، ان الشمس يجب أن لا تشرق ابداً، على حد قول الفيزيائي الالماني فرتز هاوترمانز والفلكي الانكليزي روبرت اتكنسون.

عندما يقترب البروتون في قلب الشمس من بروتون آخر فإنه يستدفع بقوة تنافر عنيفة، وفي مواجهة الجدار العالي المحيط بالبروتون الثاني. وعندما تكون درجة الحرارة في قلب الشمس 15 مليون درجة، يظهر البروتون متحركاً بعيداً وبطيئاً جداً ليقفز فوق الجدار. وعلى كل حال فمبدأ اللادقة غير كل شيء.

ففي عام 1929، أنجز هاوترمانز واتكنسون الحسابات الملائمة. فاكشفوا البروتون الأول الذي يستطيع على ما يبدو عبور الحاجز المنيع حول البروتون الثاني بنجاح، وينصهر معه حتى دون الحرارة المنخفضة 15 مليون درجة. وما هو أكثر من ذلك، أن هذا يفسر وعلى نحو كامل الحرارة الكاملة الخارجة من الشمس.

بعد ليلة من حسابات هاوترمانز واتكنسون، حاول هاوترمانز ان يختم مع صديقه بالاتجاه الذي لم يسبقه إليه أحد في التاريخ. فعند وقوفهما أسفل سماء صافية غاب عنها القمر، افتخر بانه الشخص الوحيد في العالم الذي عرف سبب لمعان النجوم. وبعد سنتين، وافقت شارلوت ريفنستال على الزواج من هاوترمانز. (وبالحقيقة تزوجت مرتين، ولكن تلك قصة أخرى).

وكجزء من ضوء الشمس، يشرح مبدأ اللادقة لهايزنبرك الشيء الأقرب لنا: وجود الذرات في اجسامنا.

## اللاذقة ووجود الذرات

في عام 1911 اظهرت تجارب كمبرج للفيزيائي النيوزلندي ارنست رذرفورد ان الذرة عبارة عن نظام شمسي صغير. فهي عبارة عن إلكترونات صغيرة تدور حول نواة ذرية محكمة، وهذا ما يشبه دوران الكواكب حول الشمس. وعلى كل حال، طبقاً للنظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل، فالإلكترون يجب أن يشع طاقة ضوئية - خلال جزء من مئات ملايين جزء من الثانية - ويدور بشكل حلزوني حول النواة. وكما أشار إليها ريتشارد فاينمان: "إن الذرات مستحيلة تماماً من وجهة النظر الكلاسيكية". ولكن الذرات موجودة. وتوضيحها يكون عبر نظرية الكم.

والإلكترون لا يمكن أن يكون قريباً من النواة لأنه إن حدث ذلك فمكانه سيكون معروفاً بدقة. لكن طبقاً لمبدأ اللادقة لهايزنبرك، فإن سرعة الإلكترون ستكون غير دقيقة. وستكون بارزة وكبيرة.

تخيل نحلة هائجة في قفص ينكمش، فكلما انكمش القفص، ازدادت النحلة هيجاناً وعنفاً مصطدمة بجدران القفص. وجميل هو سلوك الإلكترون في الذرة. فإذا كبس داخل النواة، فإنها ستكسب سرعة كبيرة، بحيث يصعب أن يبقى محصوراً في النواة.

مبدأ اللادقة لهايزنبرك يشرح لماذا لا تسقط الإلكترونات لولياً في النواة، وهذا هو السبب النهائي في أن الأرض تحت اقدامنا تكون صلبة. لكن مبدأ اللادقة يقوم بما هو أكثر من شرح بسيط لوجود الذرات وصلابة المادة. إنه يشرح لماذا الذرات كبيرة جداً، أو على الأقل أكبر بكثير من النوى في قلب الذرة.



## لماذا تكون الذرات كبيرة جداً

بالعودة إلى الذرة المثالية فإنها أكبر 100,000 مرة من النواة في مركزها. وإن فهم لماذا تكون هناك كمية مذهلة من الفراغ في الذرات يتطلب دقة أكثر حول مبدأ اللادقة لهايزنبرك. نتكلم بحزم ووضوح، انه يقول ان للذرة زخماً، وموضعاً - أكثر من سرعتها - والتي لا يمكن تعيينهما في آن واحد بدقة تصل إلى 100%.

ان زخم الجسيمة هو نتاج كتلتها وسرعتها. وفي الحقيقة، إنه ليس سوى قياس لمدى صعوبة إيقاف الشيء المتحرك. فالقطار مثلاً، له زخم كبير مقارنة بالسيارة؛ حتى لو كانت السيارة سريعة. والبروتون في النواة أكبر بـ 2000 ضعف من حجم الإلكترون. وطبقاً لمبدأ اللادقة يكون البروتون والإلكترون محصورين بنفس الحجم من الفضاء، والإلكترون سيتحرك بسرعة تصل إلى 2000 ضعف.

أشرنا سابقاً إلى سؤال هو: لماذا تكون الإلكترونات في الذرة ذات حجم أكبر من البروتونات والنيوترونات داخل النواة لتطير حول النواة؟ لكن الذرات ليست فقط أكبر بـ 2000 مرة من نوياتها، بل إنها أكبر بحوالي 100,000 مرة. فلماذا؟

الجواب هو ان الإلكترون في الذرة والبروتون في النواة ليسا خاضعين لنفس القوة. بينما تكون الجسيمات النووية ممسوكة بقوة نووية قوية ضخمة، تكون الإلكترونات ممسوكة بقوة نووية ضعيفة جداً. فحركة الإلكترونات حول النواة مرتبطة بخيط قماشي مرن، بينما البروتونات والنيوترونات مقيدة بخيط أسماك بـ 50 مرة. وهذا هو تفسير لماذا يكون حجم الذرة أكبر بـ 100,000 مرة من حجم النواة.

لكن الإلكترونات في الذرة لا تدور على نفس المسافة (البعد) من النواة. ويسمح لها بالدوران في مدى من المسافات. ليتبين انها تتطلب مأوى آخر لموجة أخرى، وهذا هو أحد مزامير القربة.

## الذرات ومزامير القربة

هناك دائماً طرق مختلفة للنظر إلى الأشياء في عالم الكون. فكل ومضة حقيقية هي محيرة ومحبطة. وإحدى الطرق هي بالتفكير بأن موجات الاحتمالية المشاركة للإلكترونات الذرة أشبه بموجات الصوت المحصورة في مزامير القربة. وليس ممكناً ان نرسم أي نغمة من مزمار القربة. فالصوت يتذبذب في عدد محدد من الطرق المختلفة، وكل نغمة في درجة أو تردد معروف.

وهذه تعود لصفة عامة للأمواج، وليس فقط الأمواج الصوتية. وفي فضاء محصور تكون الأمواج موجودة فقط في ترددات معرّقة ومفردة.

والآن فكر في الإلكترون في الذرة. له سلوك كالموجة، وانه متشبث بقوة بواسطة قوى كهربائية داخل النواة الذرية. وربما لا يكون الأمر هو نفسه كما لو أنه في شرك في الحاوية الفيزيائية. على كل حال، فإنها تحصر موجة الإلكترون بكل تأكيد في جدار مزمار القربة الذي يحصر موجة الصوت. وموجة الإلكترون يمكن تواجدها فقط بترددات محددة.

ان ترددات أمواج الصوت في مزمار القربة، والأمواج الإلكترونية في الذرة تعتمد على مواصفات المزمار. فمثلاً مزمار قربة صغير ينتج نغمات أعلى من المزمار الكبير مع صفات للقوة الكهربائية للنواة الذرية. عموماً هناك يوجد تردد منخفض واساسي وسلسلة من الترددات العالية فوق النغمات.

ان موجة التردد العالي تبدو عليها ارتفاعات وانخفاضات في فضاء الموجة. انها الفأس الأكثر عنفاً. وفي حالة الذرة، فالموجة تقابلها الحركة الاسرع، لأكثر الإلكترونات طاقة. وهي القادرة على تحدي الجذب الكهربائي للنواة أو الدوران في مدار أبعد.

الصورة التي تبرز هي للإلكترون يسمح له بالدوران فقط على مسافة خاصة من النواة. وهذا مغاير تماماً للنظام الشمسي، حيث الأرض وبقية الكواكب تدور في مسافات متباينة عن الشمس. هذه الصفة تلقى بظلالها على فرق هام آخر بين العالم المجري للذرات وعالم اليوم. ففي عالم اليوم كل الأشياء متواصلة - الكوكب يستطيع الدوران حول الشمس أي كان المكان، والناس يمكن أن يكونوا بأي وزن يحبونه - بينما الأشياء في العالم المجري متقطعة؛ فالإلكترون يكون موجوداً فقط في مدارات محددة حول النواة، والضوء والمادة يدخلان بمقدار غير قابل للانقسام. والفيزيائيون يسمون هذا المقدار بالكم، ولهذا عُرفت فيزياء العالم المجري بالنظرية الكمية.

معظم المدار الداخلي للإلكترون في الذرة عُين باستخدام مبدأ اللادقة. وذلك بسبب مقاومته الشبيهة بالبوق، ولكونه محصوراً في فراغ صغير. لكن مبدأ اللادقة لا يمنع ببساطة الأشياء الصغيرة مثل الذرات من الانكماش بلا حدود. وهو شرح نهائي لصلابة المادة. وكذلك يمنع الأشياء الكبيرة من التقلص بلا حدود. فحل السؤال حول الأشياء الكبيرة هو النجوم.

## اللا دقة والنجوم

النجم هو كرة عملاقة من الغاز ترابطت مع بعضها البعض بسحب جاذبي لمكوناتها المادية. هذا السحب هو محاولة ثابتة لتقلص الحجم. وإذا لم يقاوم ذلك، فسوف ينهار إلى مقدار ضئيل يسمى الثقب الأسود. وبالنسبة للشمس سيحتاج إلى أقل من نصف ساعة. وبما أن الشمس معروفة جداً بأنها لا تنهار إلى مقدار ضئيل، فهناك قوة أخرى مضادة للجاذبية. تلك التي تأتي من المادة الساخنة داخل الشمس. والشمس مع بقية النجوم الاعتيادية الأخرى هي في حالة مرهفة من

التوازن. وقوة الجاذبية باتجاه الداخل مكافئة بالضبط لنفس القوة الخارجية نتيجة حرارتها الداخلية.

هذا التوازن هو مؤقت. والقوة الخارجية يمكن الحفاظ عليها فقط حين يكون هناك وقود للاحتراق يبقي النجوم حارة. عاجلاً أم آجلاً، فالوقود سينفذ. وسيحدث هذا للشمس في غضون 5 مليارات سنة أخرى. وعندما يحدث، فالجاذبية ستسود. وعدم المقاومة يؤدي إلى تصادم النجم وتقلصه ليكون أصغر.

لكن كل هذا ليس ضياعاً. وفقاً لمفهوم الكثافة، إن المحيط الساخن داخل النجم، والتصادم العنيف والمتكرر بين الذرات ذات السرعات العالية والتي تصطدم إلكتروناتها مع بعضها، يوجدان حالة البلازما وهي عبارة عن غاز من النوى الذرية المختلطة مع غاز من الإلكترونات. فهذه الإلكترونات الناعمة تأتي لتتقذ النجم من التقلص السريع. وبما أن الإلكترونات في مادة النجم مضغوطة لتكون قريبة من بعضها، فإنها تربك لكونها دائمة العنف حسب مبدأ اللادقة لهايزنبرك. وهي تسحق كل ما يحاول حصرها. وهذا السحق الشمولي ينتج في قوة خارجية هائلة. وبالفعل، انها كافية لتبطئ وتوقف تقلص النجم.

إن الميزان الجديد متأثر بسحب القوة الداخلية للجاذبية المتوازية ليس بواسطة القوة باتجاه الخارج للمادة الساخنة للنجم بل بالقوة المجردة لإلكتروناتها. والفيزيائيون سموها ضغط التحلل. لكنه فقط عبارة عن مصطلح لمقاومة الإلكترونات لحبسها قريبة من بعضها البعض. ان النجم المدعم ضد الجاذبية بواسطة ضغط الإلكترونات يعرف بالقزم الأبيض. وهو أكبر قليلاً من حجم الأرض ويمثل حوالى جزء من مليون جزء من حجم النجم السابق. فالقزم الأبيض هو مشروع مكثف ضخم، وحجم مكعب من السكر من مادته يزن أكثر من وزن السيارة العائلية.

وفي أحد الأيام ستصبح الشمس قرماً أبيض. ومثل هذه النجوم لا وسائل لديها لتعويض حرارتها الضائعة. فهي ليست أكثر من جمرة نجمية، تبرد بتصلب وتذوب تدريجياً. لكن ضغط الإلكترون يمنع الاقزام البيضاء من التقلص تحت تأثير الجاذبية المحددة. ان النجم الأكثر ضخامة، هو الأقوى بجاذبيته الذاتية، وإذا كان النجم ضخماً بما يكفي، فجاذبيته ستكون مساعدة بما يكفي للتغلب على المقاومة الصلدة للإلكترونات النجم.

وبالحقيقة فالنجم مخرب من كلا الجانبين الداخلي والخارجي. والنجم الأقوى جانبية، هو الأكثر ضغطاً للغاز في الداخل. والأكثر ضغطاً للغاز هو الأكثر حرارة، كأي شخص يستخدم منفاخ الدراجة الهوائية. وبما أن الحرارة هي لا شيء أكثر من الهزات المجهرية للمادة، فإن الإلكترونات بداخل النجم تلف دائماً وبسرعة كبيرة. وبالحقيقة فإن تأثيرات النسبية أصبحت هامة<sup>(2)</sup>. تصبح الإلكترونات أضخم من سرعتها، وهذا يعني انها أقل فعالية في مواجهة جدران سجونها.

ويعاني النجم من حظ نحس مضاعف، مصطدماً بالجاذبية الأقوى وفي الوقت نفسه القابلية للقتال الخلفي. التأثيران يجتمعان ليؤكد أن القزم الأبيض الثقيل يمكن أن يكون 40% أضخم من الشمس. وإذا كان النجم أثقل من حد شاندراسيخار، فضغط الإلكترون سيكون بلا قوة ليوقف الانهيار الرأسي ويذهب إلى الانكماش.

ومرة أخرى، ليس كل ذلك ضياعاً. وبالفعل، ينكمش النجم كثيراً بالرغم من أن إلكتروناته تمقت بشدة كونها محصورة في حجم صغير، فهي بالفعل مضغوطة في النوى الذرية. وهناك تتفاعل الإلكترونات مع البروتونات لتكوين النيوترونات لكي يصبح النجم كتلة عملاقة من النيوترونات.

---

(2) انظر الفصل السابع، "موت المكان والزمان".

وكل جسيمات المادة - وليس فقط الإلكترونات - تقاوم لكونها محصورة بسبب مبدأ اللادقة لهايزنبرك. والنيوترونات أكثر ضخامة بآلاف المرات من الإلكترونات. وعلى ما يبدو فإنها تتكمش في حجم أصغر بآلاف المرات لتبدأ حالة المقاومة الجديدة. وبالحقيقة، انها تتكمش معاً حتى تكون ملاسمة لبعضها قبل ان توقف نهائياً تقلص أو انكماش النجم.

ان النجم المدعم ضد الجاذبية بضغط تحلل النيوترون يعرف بنجم النيوترون. وبدوره، فهو نواة ذرية ضخمة مع كل الفضاء الفارغ المنكمش خارج مادته. وان معظم الذرات هي فضاء فارغ. ونوياتها أصغر بـ 100,000 مرة من غيمة الإلكترونات المحيطة. ونجوم النيوترون أصغر بـ 100,000 مرة من النجم العادي. ما يجعلها بعرض 15 كم؛ أي ليس أكبر من جبل ايفرست. ولهذا فكتافة مكعب من السكر من مادة نجم النيوترون هي أكثر من الجنس البشري كاملاً. (وهذا هو توضيح للفضاء الفارغ في كل ما نحن فيه. اكبسها جميعاً، والبشرية ستتوافق مع حجم يدك).

ان مثل هذه النجوم يعتقد انها تشكل العنف في الانفجارات العملاقة. وبينما تكون المناطق الخارجية للنجم منحنية تحت الفضاء، ينكمش القلب الداخلي ليشكل نجم النيوترون. ان نجوم النيوترون تكون صغيرة وباردة، لذا من الصعب أن تكون بقعة. وعلى كل حال، فالنجوم تنشأ بدوران سريع جداً، وتنتج أشعة ضوئية من الأمواج الراديوية والتي تضئ السماء. ان مثل هذه النجوم الخافقة أو النابضة تلوح بوجودها للفلكيين.

## اللاذقة والفراغ

الاقزام البيضاء ونجوم النيوترون هي جزء - وربما النتيجة الأكثر ملاحظة لمبدأ اللادقة لهايزنبرك - من الرؤية الحديثة للفضاء الفارغ. انها ببساطة غير فارغة. ومبدأ اللادقة ممكن إعادة صياغته

لنقول انه من المستحيل ان نقيس أنياً طاقة الجسيمة ومسافة الزمن لتواجدها. وبالنتيجة إذا اعتبرنا ما يحدث في منطقة الفضاء الفارغ في مسافة زمنية صغيرة جداً، فهناك ستكون لادقة كبيرة في محتوى الطاقة لتلك المنطقة. وبكلمات أخرى، يمكن للطاقة ان تبدو بلا شيء.

والآن، الكتلة شكل من أشكال الطاقة<sup>(3)</sup>. هذا يعني ان الكتلة يمكن أن تبدو بلا شيء. الشرط هنا ان تظهر فقط لمجرد شقٍ ثانٍ قبل اختفائها مرة أخرى. وحسب قوانين الطبيعة، والتي عادة ما تمنع ظهورها من لا شيء، تظهر لتبدو عيناَ عَمِياً للأحداث التي تحدث وبسرعة جداً. انها نوعاً ما تشبه والد المراهق الذي لا يرى ابنه وهو يأخذ السيارة طوال الليل ويرجعها إلى المرآب قبل انتهاء اليوم.

وعملياً فالكتلة تستحضر خارج الفضاء الفارغ في شكل الجسيمات المجهرية للمادة. والفراغ الكمي هو بالفعل مستتبع مضطرب بالجسيمات المجهرية مثل الإلكترونات التي تتفرقع ثم تتلاشى مرة أخرى<sup>(4)</sup>. وهذا ليس مجرد نظرية. وهي بالفعل نتيجة قابلة للملاحظة. فالبحر العكر من الفراغ الكمي يقاوم فعلياً الإلكترونات الخارجية من الذرة، وهناك تغيرات طفيفة جداً لطاقة الضوء يمكن أن تخرج<sup>(5)</sup>.

وحقيقة أن قوانين الطبيعة تسمح للبعض ان يأتي من لا شيء لا يفرُّ منها المهتمون بعلم الكون، وهم الأشخاص الدائمون التفكير في أصل الكون. وهم يتعجبون، أيكون هذا الكون الكامل لا شيء أكثر من كونه تذبذباً كمياً للفراغ؟ انها فكرة ممتازة.

---

(3) انظر الفصل الثامن، "E=mc<sup>2</sup> ووزن شروق الشمس".

(4) فعلياً كل جسيمة توجد على امتداد الجسيم المضاد، وهو الجسيم ذو المواصفات المعاكسة. لذا فشحنة الإلكترون السالبة توجد دائماً مع البوزترون الموجب الشحنة.

(5) هذا التأثير يسمى ازاحة الحمل.





## الكون التخاطري

كيف تؤثر الذرات بعضها على البعض الآخر  
في آن واحد حتى عند الواجهة المتضادة للكون

نورتي بابتهاج، السيد سكوت

النقيب جيمس ت. كيرك

تدور العملة المعدنية بشكل حلزوني. هذه العملة موضوعة في صندوق قوي مغمور بالطين بأسفل خندق داخل المحيط العميق. لا تسأل ما الذي جعل العملة تلف بشكل حلزوني أو ما الذي يحافظ على دورانها الحلزوني. هذه إذاً فكرة حسنة خارج القصة! والنقطة هي ان هناك عملة كثيرة الدوران مشابهة في صندوق مماثل موجود على القمر البارد، في المجرة البعيدة من الجانب الثاني للكون.

سقطت العملة الأولى على وجهها. وبنون دوران برمي مجرد، وبعد عشرة مليارات سنة ضوئية من الأرض سقطت شبيهتها على الوجه الآخر.

العملة على الأرض تتساوى بسقوطها على قفاها ومثيلتها البعيدة على وجهها. هذا ليس بالمهم. فالشيء الهام هو ان العملة على الجانب البعيد من الكون تعرف على الفور حالة نظيرتها الأرضية البعيدة جداً فتفعل عكسها.

لكن كيف يمكن أن نعرف ذلك؟ إن حدود سرعة الكون في كوننا هي سرعة الضوء<sup>(1)</sup>. وحيث أن العملتين فصلتا بعشرة مليارات سنة ضوئية، فالمعلومة حول إحدى العملتين تحتاج على الأقل إلى عشرة مليارات سنة ضوئية قبل وصول المعلومة الثانية. علاوة على انهما تتعرفان على بعضهما في لحظة.

هذا النوع من الفعل الشبحي عن بعد يقودنا إلى واحدة من أهم الميزات الملاحظة في العالم المجهري. ولهذا انتفض أينشتاين معلنا أن النظرية الكمية خطأ. وبالحقيقة كان أينشتاين مخطئاً.

ففي العشرين سنة الماضية، راقب الفيزيائيون سلوك العملتين المفصولتين، بمسافات بعيدة. والعملات هي عملات كمية، والمسافة ليست بالتأكيد مسافة عرض الكون<sup>(2)</sup>. ومع ذلك، فالتجريبون نجحوا بتوضيح أن الذرات ومثيلاتها يمكن لها التواصل في آن واحد في عنف كامل مع حاجز سرعة الصوت. والفيزيائيون عمّدوا هذا النوع النحس من توارد الخواطر الكمي باللاموضعي. وأحسن طريقة لفهمه هي باعتبار الصفة الفريدة للجسيمة والتي تسمى برماً (دوران).

### الفعل الشبحي عن بعد

إن الدوران هو الوحيد في العالم المجهري. والجسيمات التي لها سلوك برمّي تدور بارتفاعات برمية صغيرة. ويبدو أنها لا تدور فعلياً!

---

(1) انظر الفصل السابع، "موت المكان والزمان".

(2) في الحقيقة، إن العملتين الكميتين يجب أن تتواجد معاً، ثم بشكل منفصل لإظهار الفعل الشبحي عن بعد، وهذا سيب آخر لكي لا تؤخذ قفا العملات على الجوانب المختلفة للكون بجدية. وكما أشرنا أنها فكرة حسنة خارج القصة، وإنها موجودة لمواكبة حقيقة واحدة ومدهشة وهي أن النظرية الكمية تسمح للأشياء أن يؤثر بعضها على بعض الآخر في وقت واحد، حتى على الأوجه المتعاكسة للكون.

ومرة أخرى نصل إلى عكس اللاوعي الأساسي للعالم المجهرى. ان دوران الجسيمات - مثل عدم قابليتها المتأصلة على التوقع - هو شيء يتشابه بشكل غير مباشر مع عالم اليوم. والجسيمات المجهرية لها مقادير مختلفة من الدوران. فالإلكترون يحمل أقل كمية. وهذا يسمح له بالدوران في طريقين ممكنين. وفكر بأن تبرم مع وعكس عقارب الساعة (مع أنه في الحقيقة لا يدور إطلاقاً!).

فإذا نشأ الاكترونان مع بعضهما، يدور الاول مع عقارب الساعة بينما يدور الثاني عكس عقارب الساعة؛ وسيلغيان دورانهما. والفيزيائيون يقولون ان الدوران الكلي يساوي صفراً. وبالتأكيد فإن زوجاً من الإلكترونات من الممكن أن يكون دورانهما الكلي يساوي صفراً إذا دار احدهما مع عقارب الساعة والثاني عكس عقارب الساعة.

والآن هناك قانون في الطبيعة، ويقول بأن الدوران الكلي لمثل هذا النظام لا يمكن أن يتغير ابداً. (وبالفعل يسمى قانون المحافظة على العزم الزاوي). ولهذا عند نشأة زوج من الإلكترونات بعزم كلي يساوي صفراً، فإن دوران هذا الزوج يجب أن يبقى صفراً ما دام الإلكترونان موجودين.

ولا شيء غير اعتيادي، فإن هناك طريقة أخرى لنشأة الإلكترون بدوران كلي يساوي صفراً. فنقول إذا كانت حالتان من النظام المجهرى ممكنتين فإن تراكبهما ممكن أيضاً، وهذا يعني انه يمكن انشاء زوج من الإلكترونات في وقت واحد من اتجاه عقارب الساعة إلى عكس عقارب الساعة والعكس صحيح.

وماذا بعد؟ لننتذكر ان مثل هذا التراكب موجود فقط ما دام زوج الإلكترونات معزولين عن بعضهما. ان العزم الخارجي يتفاعل مع الزوج، وهذا التفاعل ممكن، وبإمكان أي شخص ان يتأكد ليرى ماذا يفعل زوج الإلكترونات، فالتراكب يخضع للتشتت ومن ثم يدمر الزوج

الإلكتروني. وغير قادر على البقاء أطول في حالة الانفصام، يعدل زوج الإلكترونات ليكون إما مع اتجاه عقارب الساعة - عكس عقارب الساعة أو اتجاه عكس عقارب الساعة - أو عكس عقارب الساعة. وما يزال الشيء غير عادي (على الأقل في العالم المجهرى!). الآن تخيل ذلك بعد نشأة الإلكترونات في حالة انفصامية، فإنها تبقى معزولة ولا أحد يشاهدها. وبدلاً من ذلك، يؤخذ إلكترون واحد في صندوق لمكان ناء. فقط عندها يمكن لشخص واحد أن يفتح الصندوق ويلاحظ دوران الإلكترون.

فإذا دار الإلكترون في المكان البعيد باتجاه عقارب الساعة، ففي اللحظة ذاتها يجب على الإلكترون الآخر أن يتوقف عن كونه في حالة انفصامية، ويُفترض أن يدور عكس عقارب الساعة. والدوران الكلي يبقى صفراً. وعلى الجهة الأخرى إذا كان الإلكترون يدور عكس عقارب الساعة فمثيله يفترض أن يدور في اللحظة نفسها مع عقارب الساعة.

وهذا لا يهم إذا كان أحد الإلكترونين في صندوق فولاذي مدفون حتى نصفه في قاع البحر والآخر في الجانب البعيد للكون. فذلك الإلكترون يستجيب في اللحظة نفسها للحالة الأخرى. وهذه ليست مجرد نظرية خفية أو سرية. والتأثير المباشر يمكن رؤيته في المختبر.

ففي عام 1982، أنشأ ألين اسبيكت وزملاؤه في جامعة جنوب باريس زوجاً من الفوتونات، وارسلوا اعضاء من كل زوج إلى كشافين مفصولين بمسافة 13م. قاس الكشافان استقطابية الفوتونات والصفة المتعلقة بدورانهما. فريق اسبيكت شاهد أن قياس استقطاب الفوتونات في أحد الكشافين يؤثر على الاستقطاب المقاس بالكشاف الثاني. هذا التأثير انتقل بين الكشاف بأقل من  $10 \times 10^{-9}$  ثانية. وبشكل حاسم، هذا كان ربع وقت الزمن لشعاع الضوء ليجسر هوة 13م.

واقل مما يبدو فإن بعض التأثير المتنقل بين الكشافين هو أربع اضعاف سرعة الصوت. فإذا كانت التقنية ممكنة لقياس المسافة الزمنية القصيرة، فإن أسبيكت أوضح أن التأثير الشبحي سيكون أسرع. والنظرية الكمية كانت صحيحة. واينشتاين، غفر الله له، كان مخطئاً. الصفة اللاموضعية لا تحدث البتة في العالم الاعتيادي غير الكمي. وكتلة الهواء ربما تنشق إلى اعصارين، احدهما يدور مع عقارب الساعة والآخر عكس عقارب الساعة. ولكن تلك الحالة بأكملها ستبقى - دوران في اتجاهات متضادة - حتى خروجهما معاً من القوة الدافعة. ان الفرق الحاسم في العالم المجهري الكمي هو ان دوران الجسيمات غير مثبت حتى لحظة مراقبتهما. وقبل مراقبة دوران أحد الإلكترونين في الزوج، فإن اتجاه دورانهما لا يمكن توقعه بتاتاً. فهناك فرصة 50% ليكون مع عقارب الساعة و 50% ليكون عكس عقارب الساعة. (ومرة أخرى، نواجه صعوبة العشوائية المجردة في العالم المجهري). ولكن لا توجد طريقة لمعرفة اتجاه دوران الإلكترون إلى أن يراقب، وفي الوقت نفسه يدور الإلكترون الآخر باتجاه معاكس؛ وليس مهماً كيف سيكون حال الجسيم الآخر.

### التشابك

في قلب اللامكان، تميل الجسيمات لتتفاعل مع بعضها لتصبح متظافرة أو متشابكة، وبذلك تعتمد صفات إحداها دوماً على صفات الأخرى. وفي حالة الزوج الإلكتروني، تقف الجسيمات المتشابكة على مسافة معلومة؛ بما يشبه الشريكين المتحابين المرتبطين في كيان كامل. ولا يهم كيف يجذب الأبعد منهما، فهما يبقيان مرتبطين للأبد.

التوضيح الاغرب للتشابك هو وبدون شك اللامكان. وبالحقيقة، إذا تمكنا من لجمه فبالإمكان انشاء نظام اتصالات فوري. ومعه بإمكاننا

مهاتفة الجانب الآخر من العالم بدون تأخير زمني. وفي الحقيقة بالإمكان مهاتفة الجانب الآخر من الكون بدون تأخير زمني! ولن ننزعج بعد الآن من سرعة الصوت المزعجة.

وعلى نحو مثير للخيبة، لا تستطيع اللاموضعية ان تكون اللجام لنشأة نظام اتصالات آني. والمحاولات لاستخدام دوران الجسيمات لإرسال رسائل عبر مسافات كبيرة ربما يستعمل فيها اتجاه واحد من الدوران للشفرة 0 وبالاتجاه الآخر 1. وعلى كل حال، لمعرفة انك ارسلت 0 أو 1 تحتاج للتأكد من دوران الجسيمة. ولكن هذا التأكد يقتل التراكب؛ وهو اساسي للفعل الآني. وإذا استعملت رسالة بدون نظرة اولى، فانك ستكون متأكداً من ارسال 50% للشفرة 1 وبمستوى الدقة وهي مذهشة لأي رسالة ذات معنى.

وبالرغم من التأثير الآني فإنه سمة أساسية لكوننا، فنجد الطبيعة تعمل بالضبط ما هو مطلوب لجعله غير صالح لإرسال معلومة حقيقية. وهذا ما يسمح لحاجز سرعة الصوت أن يكسر بدون كسره فعلياً. حيث تعطي الطبيعة بيد وتأخذ بقسوة باليد الأخرى.

## الرواق البعيد

بشكل قابل للجدل، الجهد السادس المستعمل في النشأك يرسل الوصف الكامل للهدف إلى مكان بعيد جداً بحيث إن الماكينة الذكية الملائمة لذلك في النهاية الأخرى تستطيع أن تعطي نسخة تامة. وهذا بالتأكيد هو وصفه لناقل رحلة النجم، والتي تبتسم لأعضاء الطاقم ذهاباً وإياباً بين الكوكب والسفينة.

ان تقنية بناء مشروع صلب ومجرد من المعلومة يمكن وصفه هي بالتأكيد قرارات مجردة وخارج الامكانيات. ولكن فعلياً نجد ان فكرة انشاء نسخة عن المشروع تؤسس لمكان بعيد هي أساسية أكثر

من هذه. وطبقاً لمبدأ اللادقة لهايزنبرك، هناك استحالة لوصف تام للهدف، ما يعين موقع كل الذرات، والإلكترونات في تلك الذرات، وهكذا. وبدون هذه المعرفة كيف يمكن للنسخة التي يمكن تجميعها ان تكون مضبوطة؟

ان التشابك القابل للملاحظة يوفر الطريق لذلك. والسبب ان الجسيمات المتشابكة تسلك سلوك الكيان المستقل الفردي. إنها تعرف بعضها بسرية تامة.

لنقل ان لدينا جسيمة  $P$  ونريد عمل نسخة منها  $P^*$ . وللقيام بذلك فإنه من الضروري معرفة صفات  $P$ . وطبقاً لمبدأ اللادقة إذا قمنا بقياس صفة لـ  $P$  بالتحديد - موضعه على سبيل المثال - فحتماً سنفقد كل المعلومات عن الصفات الأخرى مثل سرعته. ومع ذلك فإن حدود هذه الاعاقة يمكن احاطتها باستعمال مبدع للتشابك.

ولنأخذ جسيمة أخرى  $A$ ، وهي أصغر من  $P$  و  $P^*$ . فالشيء الهام هو أن  $A$  و  $P^*$  هما زوج متشابك. والآن صنع تشابك  $A$  و  $P$  معاً مقياساً للزوج. وهذا سوف يخبرنا عن بعض الصفات لـ  $P$ . طبقاً لمبدأ اللادقة.

فالقياص حتماً يتضمن فقدان معرفة بعض الصفات لـ  $P$ . ولكن كل هذا ليس مفقوداً. فلأن  $P^*$  تشابك مع  $A$  فلقد احتفظ بالمعرفة حول  $A$ . ولأن  $A$  تشابك مع  $P$ ، فإن  $A$  تحافظ على معرفة  $P$ . وهذا يعني انه على الرغم ان  $P$  ليس على توافق مع  $P^*$ ، لكن  $P$  يعرف اسراره. علاوة على ذلك، عندما تؤخذ القياسات لـ  $A$  و  $P$  معاً والمعلومات حول  $P$  تبدو مفقودة، ففوراً تتوفر المعلومات لـ  $A$  شريك  $P^*$ . هذا هو لغز التشابك.

ومسبقاً نحن نعرف الصفات الأخرى لـ  $P$ ، التي حصلنا عليها من  $A$ ، فيكون لدينا كل ما نحتاجه لجعل  $P^*$  بالضبط مساهماً

مع  $P^{(3)}$ . وهكذا نستغل التشابك لمرأوغة القيود المؤرخة من مبدأ اللادقة لهايزنبرك. والشئ المدهش هو انه علاوة على اننا نستغل التشابك لصنع الجسيمة مع مواصفات مضبوطة لـ  $P$ ، فلقد انتقلت لانظرنا تلك المواصفات خلال الاتصالات الشجية للتشابك<sup>(4)</sup>.

نسمي هذا المظهر الرواق البعيد، وهو جزء من المظهر المبالغ فيه حيث تحل فقط واحدة من المسائل في صنع ناقل رحلة النجم. والباحثون بالتأكيد يعرفونه. ولكنهم يعرفون شيئاً أو أكثر عن كيفية خطف الاخبار الرئيسية في الجرائد!

في موقع غير منيع، نجد أن ناقل رحلة النجم لا يبالي بموقع كل ذرة في جسم الإنسان ولا ينسخ معلومات مجمعة عن ذلك الإنسان. انها فعلياً نقل محض لحجم المعلومة المحتاجة لوصف شخص عبر الفضاء. أكثر ببليون مرة يحتاج إلى المعلومات لإعادة بناء صورة تلفاز ببعدين. والطريق السابق لإرسال المعلومة هو سلسلة من ثنائيات القطع، نقاط وفواصل. وإذا أرسلت المعلومة في وقت معقول، فيجب أن تبدو النبضات قصيرة. لكن النبضات الأكثر قصراً ممكنة فقط مع ضوء بطاقة عالية جداً. وكما أشار كاتب الخيال العلمي آرثر كلارك إن إشعاع النقيب كيرك يستطيع بسهولة أخذ المزيد من الطاقة أكثر من تلك الموجودة في مجرة صغيرة من النجوم.

---

(3) إن المعلومة حول الجسيم الاصيلي  $P$  تنتقل بوسائل اعتيادية أقل من سرعة الضوء، وهي حد سرعة الكون. إذاً، حتى لو كان  $P$  و  $P^*$  بعيدين عن بعضهما، فإن إنشاء  $P^*$  - النسخة التامة لـ  $P$  - ليس آنياً، بالرغم من حقيقة أن الاتصالات بين الجسيمين المتشابين  $A$  و  $P$  آنية.

(4) انه مدهش حقاً - حتى مع التشابك - أنه أكثر ما يمكنك القيام به هو نسخة من الهدف على نفقة تدمير الاصل. ان صنع نسخة والاحتفاظ بالاصل في الوقت نفسه يعتبر مستحيلًا.



الرواق البعيد هو غير موضعي، والنتيجة الأكثر مزاجية للتشابك هي التي تعتبر الكون كاملاً. وفي وقت واحد، كل جسيمات الكون لها نفس الحالة بسبب كونها مجتمعة في الحدث الجبار. وبالنتيجة كل الجسيمات في الكون هي في نفس مدى التشابك مع بعضها.

وهناك اخطبوط شبحي لشبكة اتصالات كمية مع الكون، ويربطني بك في آخر قطعة من المادة في المجرة البعيدة المسافة. نحن نعيش في كون تخاطري. ولكن ما يعنيه ذلك للفيزيائيين لم يتضح بعد.

والتشابك ربما يساعد على شرح السؤال المطروح من قبل النظرية الكمية: من أين يأتي عالم اليوم؟

### من أين يأتي عالم اليوم؟

طبقاً للنظرية الكمية، إن التراكبات الغريبة للحالات هي ليست ممكنة فقط بل مضمونة. ويمكن أن تكون الذرة في أماكن عدة في آن واحد أو تعمل أشياء عدة في آن واحد. ان التداخل بين الإلكترونات يقود مباشرة لعدد من الظواهر الشاذة في العالم المجهرى. لكن لماذا ذلك، فهناك عدد كبير من الذرات تتصادم مع بعضها لتشكل أهدافاً يومية، وهذه الأهداف لا تظهر سلوكاً كمياً؟ فمثلاً، الأشجار لا تتصرف كما لو أنها في مكانين بآن واحد. وليس هناك حيوان يتصرف كما لو أن هناك علاقة بين الضفدعة والزرافة.

المحاولة الأولى لشرح اللغز كانت في كوبنهاغن عام 1920 من قبل رائد الكم نيلز بور. ان تفسيرات كوبنهاغن اثرت على تقسيم الكون إلى مجالين منضبطين بقوانين مختلفة. فعلى أحد الجوانب، هناك مجال صغير جداً ضبط بالنظرية الكمية، وعلى الجانب الآخر ضبط المجال الأكبر بقوانين عادية أو تقليدية. وطبقاً لتفسيرات كوبنهاغن فإن الهدف

الذري مثل الذرة يتفاعل مع الهدف التقليدي والذي دفع بقوة لايقاف التراكب الانفصامي ويبدأ سلوكاً محسوساً. والهدف التقليدي ممكن ان يكون جهاز كشف أو حتى بشراً.

لكن ما هو بالضبط عمل الهدف التقليدي لايقاف الهدف الكمي عن كونه كمياً؟ والأكثر أهمية مما يتألف الهدف التقليدي؟ بعد كل شيء، العين هي تشكيلة كبيرة من الذرات، والتي تطيع بشكل انفرادي نظرية الكم. يتحول هذا ليصبح آخر مدينة أشيل لتفسيرات كوبنهاغن، وتعليها دائماً يظهر على ما يبدو تفسيراً غير مقنع لسؤال: من أين يأتي عالم اليوم؟

ان تفسيرات كوبنهاغن قسمت الكون، اختياريّاً إلى مجالين، احدهما محكوم من قبل النظرية الكمية وهي انهزامية جداً. وإذا كانت النظرية الكمية هي وصفاً أساسياً للواقع، فبالتأكيد يجب تطبيقها في كل مكان، في العالم الذري والعالم اليومي. وفكرة انها نظرية كونية هي أشبه بقشرة الجوز، كما يعتقد ذلك فيزيائيو اليوم.

لقد وجدت حيث لا نلاحظ النظام الكمي مباشرة، بل فقط نلاحظ تأثيرها على محيطها. وهذه ربما تكون جهاز قياس، أو عيناً بشرية، أو الكون عموماً. فمثلاً الضوء القادم من مصدر ما يصدم قرنية العين ويحدث الانطباع هناك. فما يعرفه المراقب غير منفصل عما هو المراقب عليه. والآن إذا طبقت النظرية الكمية في أي مكان، يكون لدينا مشروع كمي مراقب أو مسجل كمشروع كمي آخر. والسؤال المركزي والذري الذي من الممكن إعادة صياغته قد يساعدنا على الاجابة. لماذا الحالات الانفصامية الغريبة تغش في التأثير فيما بينها أو تتشابه مع المحيط، بينما مكان واحد اليوم يعمل في وقت واحد؟

فإذا كانت الجسيمة الذرية الفرعية ذات السرعة العالية تدور في الهواء فإنها تضرب الإلكترونات من أي ذرات تمر بالقرب منها.

وتخيل أنه من الممكن رؤية رواق بطول 10سم. ولنقل في مسافة 10سم الجسيمة لها نسبة 50% للتفاعل مع إلكترون واحد، تخرجه من ذرته الام.

والجسيمة اما ان تضرب الإلكترون أو لا تضربه. ولكن بما أن اصطدام الإلكترون هو حدث كمي فهناك احتمالية أخرى؛ أي تراكب الحدثين. فالجسيمة تضرب الإلكترون ولا تضربه! والسؤال هنا: لماذا يتشابهك هذا الحدث مع المحيط ومتى، وهل يترك انطباعاً يتعذر محو أثره؟ والحظ يلعب دوره، فمن الممكن رؤية حدث قذف الإلكترون بجهاز بارع عرف بغرفة الغيمة.

فالغيوم تتشكل في الهواء عندما تسبب الحرارة تكثيف قطرات الماء من بخار الماء. لكن هذه العملية تحدث بسرعة فقط إذا كانت هناك أشياء مثل جزيئات الغبار في الهواء تعمل كبذور حول قطرات الماء والتي يمكن أن تنمو. والآن هذه البذرة - وهي المفتاح لعمل غرفة الغيمة - لا تحتاج لتكون أكبر من حبة الغبار. وبالحقيقة تحتاج فقط إلى ذرة واحدة فاقدة لإلكترون واحد يسمى الأيون.

ان غرفة الغيمة هي صندوق مليء ببخار الماء ومزود بنافذة في أحد جوانبه للنظر فيه. وبشكل حاسم، إن بخار الماء نقي جداً، ولذلك لا يوجد بذور عليه تسمح للبخار بأن يتكثف. والبخار يكون في حالة يائسة لتشكيل قطرات، ولكنه خائب الأمل لعدم وجود بنور. ثم تدخل جسيمة ذرية عالية السرعة، حيث تصدم إلكترونات خارج الذرة، وتنمو قطرة الماء على الفور حول الأيون. ان القطرة صغيرة لكن كبيرة بما يكفي لرؤيتها من نافذة غرفة الغيمة إذا أضيئت تماماً.

إذا ما الذي يمكن أن تراه من خلال نافذة غرفة الغيمة؟ الجواب هو بالتأكيد أحد الاحتمالين، إما قطرة ماء مفردة أو لا يوجد قطرة ماء. ولا ترى مطلقاً تراكب كلتا القطرتين؛ قطرة شبيهة يتأرجح نصفها في

الوجود ونصفها الآخر خارج الوجود. والسؤال هو، ماذا يحدث في غرفة الغيمة لمنع القطرة من تسجيل التراكب؟

خذ الحدث حيث تتشكل قطرة الماء. تكون قد أطلقت عليها بذرة واحدة متأينة. ونفس الذرة موجودة في الحدث حيث لا قطرة متواجدة. انها فقط لم تتأين، ولهذا لا يوجد قطرة مياه تتشكل حولها. لنفترض ان الذرة قد صبغت باللون الأحمر في كلتا الحالتين لجعلها تبرز (لا تستطيع حقيقة صبغ ذرة!).

والآن في حادثة قطرة تتكون، ركز أكثر على ذرة بقرب ذرة حمراء. الماء اكدف من بخار الماء والذرات أقرب من بعضها. وبالنتيجة، الذرة أقرب إلى الذرة الحمراء من الحدث حيث لا تتشكل قطرة الماء. ولهذا السبب فإن احتمالية الموجة تمثل الذرة في الحدث الأول فقط وتتداخل جزئياً مع احتمالية الموجة لنفس الذرة في الحدث الثاني. وهذه الأمواج تمثل نصف تداخل.

أما الآن فخذ ذرة ثانية في الحدث الأول، انها تكون أقرب في الحالة الثانية من الحالة الأولى. ومرة أخرى فإن أمواج الاحتمالية ستكون نصف متداخلة. وإذا اعتبرنا ان احتمالية الموجة تمثل الذرتين معاً فإنها تتداخل فقط بمقدار الربع مع الحالة الثانية حيث  $\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ .

انظر إلى أين هو ذاهب؟ قل إن قطرة الماء تحتوي على ملايين الذرات، أي ما يكافئ قطرة صغيرة جداً. وما هو مقدار احتمالية الموجة الممثلة لملايين الذرات في الحالة الأولى تتداخل مع احتمالية الموجة الممثلة لملايين الذرات في الحالة الثانية؟ الجواب هو  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \dots$  ملايين الضعاف. هذا عدد صغير مميز. وسيكون اساساً صفراً متكاملاً.

لكن إذا كانت الموجتان لا تتراكبان على الإطلاق، فكيف تستطيعان التداخل؟ والجواب هو، بالتأكيد لا تتداخلان. التداخل موجود

عند جذور كل الظواهر الكمية. فإذا كان التداخل بين الحدثين مستحيلاً، فنحن نرى الحدث الأول أو الثاني ولكن لا يختلط تأثير أحدهما مع الثاني، وهذا أساس التكميم.

يُقال عن احتمالية أمواج لا تتراكب ولا تستطيع التداخل أنها فقدت التماسق أو تشتتت. والتشتت هو السبب النهائي للحادثة الكمية في المحيط المؤلف من ذرات وهي ليست كمية. ففي حالة غرفة الغيمة، المحيط هو ملايين الذرات حول الذرة المتأينة أو غير المتأينة. وعموماً فالمحيط مؤلف من عدد لا يحصى من كوادرات من الذرات في الكون. والتشتت هو مؤثر ضخم في تدمير أي تراكب بين الموجات المحتملة للأحداث والمتشابكة مع المحيط. وبما انها الطريقة الوحيدة التي نستطيع اختبارها فيها فنحن لا نستطيع رؤية السلوك الكمي مباشرةً.



## التطابق وجذور التنوع

كيف ينشأ التنوع المذهل في عالم اليوم  
من حقيقة كونك لا تستطيع وشم الإلكترون

استيقظت مبكراً صباحاً وكانت كل امتعتي قد سرقت فاستبدلتها بأخرى  
مشابهة لها بالضبط.

ستيفن رايت

أتيا من مكان واسع وبعيد ليروه، إنه النهر في أعلى التلة.  
ليمارسوا كما اعتادوا في الماضي رياضة صيد الاسماك، متسلقين عبر  
البيوت القريبة، قبل التعرّيج إلى جانب التلة حيث تنتشر الخرفان عند  
قمة الصخور المطلة على المدينة. فأجفلوا النوارس المتمائلة هناك.  
ركض الأطفال المتحمسون بجانب النهر. وعلى طاولة الرحلة وعلى  
طول أسفل النهر يجلس السواح للتمتع في اعجوبة الطبيعة.

وبالتأكيد لا يوجد سائل يتغلب على الجاذبية ويصعد أعلى التلة؟  
والملاحظ هنا، أيضاً نتيجة أخرى للنظرية الكمية. وهي ان الذرات  
ومثيلاتها يمكن أن تعمل أشياء مستحيلة قبل ان تقوم بشيء ما. فمثلاً  
يمكن أن تكون في مكانين أو أكثر في آن واحد، وتخترق الحواجز

المنبوعة، وتعرف كل شيء عن الذرات الأخرى حتى على الجوانب المختلفة للكون. وكذلك فهي غير قابلة لتوقع أعمالها، فهي تقوم بأشياء بدون أسباب على الإطلاق؛ وربما الأكثر دهشة وتهيجاً لكل سماتها.

كل هذه الظواهر تصل نهائياً إلى صفة الموجة الجسيمية للإلكترونات والفوتونات وما شابههما. لكن الطبيعة الغريبة المشتركة للأهداف المجهرية هي ليست الشيء الوحيد الذي يجعلها مختلفة جذرياً عن أهداف اليوم. فهناك شيء آخر: هو عدم القابلية على التمييز. فكل إلكترون مماثل لإلكترون آخر، وكذلك كل فوتون مماثل لنظيره وهكذا<sup>(1)</sup>.

بعد اللمحة الأولى لا تبدو هذه صفة قابلة للملاحظة. لكن فكر في الأهداف في عالم اليوم. ان سيارتين بنفس اللون والموديل تظهران بنفس الوقت هما في الحقيقة ليستا متماثلتين. فالتحري الدقيق يظهر انهما يختلفان قليلاً في انتظام صبغتهما، وفي ضغط هواء عجلتهما، وفي آلاف الصفات الصغيرة الأخرى.

وهذا يتناقض مع عالم الأشياء الصغيرة. فالجسيمات المجهرية لا يمكن أن تחדش أو تميز بأية طريقة. فلا تستطيع وشم الإلكترون. انه غير قابل للتمييز بكل ما في الكلمة من معنى<sup>(2)</sup>. ونفس الشيء يقال عن الفوتون وكل مواطني العالم المجهرى. ان عدم قابلية التمييز هي صحيحة بعض الشيء تحت الشمس. ونتائجها جديرة بالملاحظة بالنسبة

---

(1) وبما أن الفوتونات تأتي باطوال موجية مختلفة، فنحن بالتاكيد نتكلم عن الفوتونات بنفس الطول الموجي المماثل للآخر.

(2) جون ويلير وريتشارد فاينمان قدما مقترحاً هاماً حول لماذا الإلكترونات لا يمكن تمييزها تماماً، والسبب ان هناك إلكترونات واحداً في الكون! انه يتموج باتجاه الامام وباتجاه الخلف أشبه بالغزل يتحرك إلى الامام والخلف خلال عملية النسج. وتشاهد العديد من الأماكن عندما يتحرك الغزل في صناعة النسيج وبالخطأ ينسب إلى الإلكترون المنفصل.



لكلا العالمين المجهري واليومي. ومن العدل ان نقول إنها السبب في أن العالم الذي نعيش فيه ممكن.

### أشياء لا يمكن لأجزاء منها ان تتداخل

عودة إلى السلوك الغريب للعالم المجهري، مثل قابلية الذرة لتكون في أماكن عديدة في آن واحد، فإنها تتقدم للتداخل. ففي تجربة الشق المزدوج يحدث التداخل عندما تمر الجسيمة الموافقة للموجة خلال الشق الايسر وتلك الأخرى تمر خلال الشق الايمن لتنتجا نموذجاً مميزاً متناوباً بين خطوط سوداء وبيضاء على الشاشة الثانية.

ولنقل انك نظمت وسائل لتعيين أي شق يمكن للجسيمة أن تمر من خلاله - لتمكنك من التمييز بين شيئين متناوبين - فإن خطوط التداخل تختفي بسبب التشتت. والتداخل يحدث فقط إذا كان الشيطان المتناوبان غير قابلين للتمييز، وفي هذه الحالة فالجسيمة تمر خلال أحد الشقين، والأخرى تمر عبر الشق الآخر.

وفي حالة تجربة الشق المزدوج، برز الشيطان المتناوبان غير قابلين للتمييز ما دام لا أحد يشاهد ذلك. لكن الجسيمات المتماثلة مثل الإلكترونات تزيد احتمالية انواع جديدة كاملة من الأشياء غير القابلة للرؤية.

فكر بالمراهق الذي يخطط للذهاب إلى النادي مع صديقه التي لديها أخت توأم مماثلة لها. ومن غير أن يعرف، تقرر صديقه البقاء في المنزل لمشاهدة التلفاز وترسل توأمها بدلاً عنها. ولأن البننتين تبدوان متماثلتين بالنسبة للمراهق (علاوة على انه لا يوجد تماثل في المستوى المجهري)، فالحديثان - الذهاب للنادي مع صديقه وذهابه إلى هناك مع أخت صديقه - غير قابلين للتمييز.

إن الأحداث التي تشبه هذا الحدث والتي هي ببساطة غير قابلة للتمييز بسبب كونها تتضمن أشياء غير قابلة للتمييز ظاهرياً ليس لديها نتائج جدية في العالم المترامي الاطراف (كجزء من السماح لبنتين توأمين أن تركضا بشكل دائري حول أصدقائهما). وعلى كل حال، ففي العالم المجهري، هناك نتائج معمقة. لماذا؟ لأن الأحداث غير قابلة للتمييز - ولأي سبب كان - قادرة على التداخل مع بعضها.

### تصادم الأشياء المتماثلة

خذ نواتين ذريتين تتصادمان. ان أي اصطدام مثل هذا التصادم - وهذه النقطة المحددة يجب أن تأخذ على محمل الجد - يمكن أن يرى من وجهة نظر حيث تطير النواتان في اتجاهات متعكسة وتتضاربان، وبعدئذٍ تطيران بالاتجاهات المتضادة. وعموماً الاتجاهات المتقابلة والمتنافرة ليست هي نفسها. وفكر في وجه الساعة. إذا طارت النواتان مفترقتين في نقطة تصادم عند الساعة 9 و3 فربما تطيران مفترقتين بعد تصادمهما الساعة 4 و10 أو الساعة 1 و7. أو أي زوج من الاتجاهات، أطول من الاتجاهات التي تتعكسان فيها.

والباحث التجريبي يستطيع تحديد اتجاه نواتين ترتدان بتثبيت كشافات في الاتجاهات المتضادة لوجه الساعة الافتراضية وعندئذٍ تحريكها حول الاطار معاً. ولنقل ان الكشافات وضعت عند الساعة 4 و10. ففي هذه الحالة، هناك طريقان محتملان يمكن للنواتين أن تلتقيا فيهما الكشافات. فالنواتان تضربان بعضهما البعض مع لمحة اشراق، ولهذا فالأولى تأتي من الساعة 9 وتضرب الكشاف عند الساعة 4 والأخرى تأتي من الساعة 3 وتضرب الكشاف عند الساعة 10. أو ان تضربا من جهة الرأس، لهذا فالأولى تأتي من الساعة 9 وترجع للخلف باتجاه الطريق الذي سلكته وتضرب الكشاف عند الساعة 10، والأخرى تأتي

من الساعة 3 مرتدة للخلف نحو الطريق الذي سلكته وتضرب الكشاف عند الساعة 4.

والاتجاهات للساعة 10 و 4 ليست اتجاهات محددة. ومتى ما وضع كشافان فهناك طريقان متناوبان حيث يمكن للنواتين أن تصلا إليهما. ويسمى هذان الحدثان بـ A و B.

وماذا يحدث إذا كانت النواتان مختلفتين؟ فلنقل ان الأولى التي تطير عند الساعة 9 هي نواة ذرة الكربون والأخرى التي تطير عند الساعة 3 هي نواة ذرة الهيليوم. حسناً، ففي هذه الحالة، يمكن دوماً التمييز بين الحدثين A و B. إذا التقطت نواة الكربون بالكشاف عند الساعة 10، فمن الواضح بأن الحدث A قد حدث، وإذا التقطت عند الساعة 4 فالحدث B قد وقع.

ماذا يحدث إذا كانت النواتان متشابهتين؟ فلنقل إنهما نواتا ذرة الهيليوم؟ في هذه الحالة يستحيل ان نميز بين الحدثين A و B. فنواة ذرة الهيليوم التي التقطت بالكشاف في الاتجاه 10 يمكن أن تمسك هناك في أحد الاتجاهين، ونفس الشيء يقال لنواة الهيليوم التي التقطت بالاتجاه 4. فالحالتان A و B قابلتان للتمييز. وإذا كان الحدثان في العالم المجري قابلين للتمييز، فالأمواج المصاحبة لهما تتداخل.

ففي تصادم النواتين، يصنع التداخل فرقاً هائلاً، فيمكن مثلاً للموجتين المشتركتين مع حادثي التصادم غير القابلين للتمييز ان تتداخل بشكل هدام، أو تلغي إحداها الأخرى نحو الساعة 10 و 4. فإن اخبرت الكشافات انه لا نواة هناك، فلا يهم كم من الوقت يصرف لاعادة التجربة. وكذلك يمكن للموجتين ان تتداخل بشكل بناء، أو تقوي احداهما الأخرى في حدود الساعة 10 و 4؛ وفي هذه الحالة ستلتقط كشافات عدداً غير طبيعي من النوى.

عموما وبسبب التداخل، سيكون هناك بالتأكيد اتجاهات إلى الخارج عند الأمواج المتوافقة مع الحدثين A و B اللذين يلتقيان أحدهما مع الآخر، حيث تقوي الموجات بعضها البعض. وهكذا إذا كررت التجربة آلاف المرات والتقطت النوى المرتدة بالكشاف حول حافة وجه الساعة الخيالي، فإن الكشاف سيلاحظ اختلافاً كبيراً في عدد النوى الواصلة. فبعض الكشافات ستلتقط الكثير من النوى، والبعض الآخر لن تلتقط شيئاً على الإطلاق.

لكن هذا اختلاف مثير عندما تكون النوى مختلفة. عندئذٍ لا يكون هناك تداخل، والكشافات ستلتقط النوى المرتدة في كل الاتجاهات. وسوف لا يكون هناك مكان حول وجه الساعة عندما لا ترى النوى.

هذا هو الاختلاف البارز بين نتائج التجربة عندما تكون النوى متشابهة وحين تكون غير متشابهة بسبب الفرق في كتل نويات الكربون والهيليوم. وبالرغم من تأثير هذا الاختلاف الصغير، فإنه يكون صحيحاً سواء كان تصادم الحدثين A و B قابلاً أو غير قابل للتمييز.

فاذا حدث هذا النوع في العالم الحقيقي، ففكر ماذا يعني هذا. ان كرتي لعبة البولنغ الحمراء والزرقاء يتكرر تصادمهما معاً وترتدان في كل الاتجاهات المحتملة.

لكن هناك شيء سيغير بمجرد صبغ الكرة الحمراء باللون الازرق فتكون الكرتان غير قابلتين للتمييز. وفجأة سيكون هناك اتجاهات عند ارتداد الكرتين بعيد أكبر منه حين كانتا ملونتين بالاحمر والازرق وفي اتجاهات حتى قبل الارتداد.

هذه الحقيقة تحدث بوجود جسيمات متماثلة في العالم المجهرى والتي تتداخل مع بعضها البعض، وتبدو أقل بكثير من الخصوصية الكمية. إنه السبب لوجود 92 نوعاً مختلفاً من الذرات في الطبيعة وليس نوعاً واحداً. وباختصار هو المسؤول عن كبر العالم الذي نحيا فيه

وتنوّعه. افهمتم لماذا - على كل حال - يتطلب هذا ادراكاً حسيّاً رقيقاً جداً لعملية تصادم الجسيمات المتماثلة.

## أسرتان من الجسيمات

لنتكلم عن حالة تنوع النوى - نواة الكربون ونواة الهيدروجين - ونأخذ بعين الاعتبار مجدداً حادثي التصادم الممكنين. ففي الحادث الأول تضرب الأخرى مع لمحة وميضية، وفي الثاني تتضاربان رأساً برأس، وترتدان نحو الخلف لمعظم الطريق الذي سلكتاه. ما يعنيه هذا هو - بالنسبة للنواة التي جاءت من الساعة 9 - أن هناك موجة مماثلة لها ذهبت عند الساعة 4، وموجة أخرى مماثلة لها ذهبت عند الساعة 10.

مفتاح الفكرة هنا هو أن احتمالية الحدث ليست متعلقة بارتفاع الموجة المشاركة مع ذلك الحدث بل مع مربع ارتفاع تلك الموجة. فاحتمالية الحدث 4 هي مربع ارتفاع الموجة بالاتجاه 4، واحتمالية الحدث 10 هي مربع ارتفاع الموجة بالاتجاه 10. فهنا يكون احساس ضعيف قادمًا.

ولنقل أن موجة النواة التي تطير خارجاً عند 10، تبدي رد فعل نتيجة التصادم، بحيث يصبح منخفضها مرتفعاً والعكس بالعكس. فهل هناك أي فرق للاحتمالية الحدث؟ لنجيب على ذلك، خذ بعين الاعتبار موجة ماء؛ سلسلة متتالية من الارتفاعات والمنخفضات. وفكر بمعدل مستوى الماء والمطابق لارتفاع مساوٍ للصفر، ولذا فإن ارتفاع القمة هو عدد ايجابي وليكن  $(+1)$ ، وارتفاع المنخفض هو عدد سلبي يساوي  $(-1)$ . والآن لا يوجد فرق عندما تربع ارتفاع القمة أو ارتفاع المنخفض بحيث إن  $(1=1 \times 1)$ ،  $(-1=-1 \times -1)$ . والنتيجة هي أن رد فعل احتمالية الموجة المشاركة مع النوى المرتدة لا يختلف عن احتمالية الحدث.

لكن هل هناك أي سبب لنعتقد ان موجة واحدة ربما لها رد فعل؟  
ان التصادمين عند 10 و 4 هما حدثان مختلفان. ففي الأول يتغير مسار  
النواة بصعوبة، بينما في الثاني يتغير مسار النواة بعنف نحو نفسه. انه  
على الأقل مقبول، ان موجة 10 ربما تكون رد فعل.

وإن كون بعض الأشياء رد فعل لا يعني أنها حدثت فعلاً. ففي  
هذه الحالة إن لدى الطبيعة احتمالين متوفرين: تستطيع ان تكون رد فعل  
موجة لحدث تصادم واحد، أو يمكن أن تتركها لوحدها. وتجعلها تقيّد  
نفسها في كلا الاحتمالين.

لكن كيف لنا ان نعرف امكانية احتمالية الموجة التي يحصل لها  
رد فعل؟ فالشيء الوحيد الذي يمكن أن يقيسه التجريبي هو عدد النوى  
الملتقطة بالكشاف، والمعتمد على احتمالية حدوث التصادم. لكن هذا  
يحدث بمربع ارتفاع الموجة، وهو نفس الشيء فيما إذا ابدت الموجة رد  
فعل ام لا.

انها تُظهر فعلياً حدوث احتمالية الموجة في التصادم المخفي عن  
الانظار. وإذا كانت الجسيمات المتصادمة مختلفة، فهذا بالتأكيد صحيح.  
لكن وبشكل حاسم، انه ليس كذلك إذا كانت الجسيمات متماثلة. والسبب  
ان الأمواج المرافقة للأحداث غير قابلة للتمييز، وتتداخل مع بعضها.  
وعند التداخل فمن المهم ان يكون لدى الموجة رد فعل أولاً قبل  
اندماجها مع الأخرى. وهذا يعني الفرق بين الارتفاعات والمنخفضات  
المتطابقة أو غير المتطابقة وبين الأمواج التي تقوي بعضها البعض أو  
تلغي بعضها.

فماذا يحدث بعد تصادم الجسيمات المتماثلة؟ ان هذا شيء غريب.  
بالنسبة لبعض الجسيمات - كالبروتونات مثلاً - فالفوتونات متشابهة  
مثل نوى ذرة الهيليوم المتماثلة. والأمواج الموافقة لحدوثي التصادم  
المتناوبين تتداخل مع بعضها طبيعياً. وبالنسبة للجسيمات الأخرى -

مثل الإلكترونات - فالأشياء مختلفة كلياً. والأمواج الموافقة لحادسي التصادم المتناوبين تتداخل، ولكن فقط بعد ان يكون هناك رد فعل لكل واحد.

ان أحجار مبنى الطبيعة مقسمة إلى أسرتين. فمن جهة هناك جسيمات لها أمواج تتداخل مع بعضها بالطريقة الطبيعية، وهي ما يعرف بالبوزون، الذي يحتوي على الفوتون والغرافيتون (الحامل الافتراضي لقوة الجاذبية). ومن جهة أخرى، هناك ما يعرف بالفرميون الذي يحتوي على الإلكترونات والنيوترونات والميونات.

ومهما كانت الجسيمات، بوزون أو فرميون - فيما إذا انغمست أو لا في ردود فعل الموجة - فإنها تعتمد على الدوران. ولنتذكر الجسيمات التي لها أكثر من دوران من تلك التي لها دوران أسرع حول محورها (علوة على ان جسيمات العالم الكمي المدهش التي لديها دوران لا تدور فعلياً!). حسناً هذا ما يجعلها مقادير غير مرئية من الدوران؛ أي فقط ما يشبه مقداراً غير مرئي لكل شيء في العالم المجهرى. ولأسباب تاريخية فإن كم الدوران هو  $\frac{1}{2}$  وحدة (لا يهم ما تعني الوحدة) والبوزون له عدد صحيح من الدوران، 0 وحدة، 1 وحدة، 2 وحدة وهكذا. والفرميون له نصف عدد صحيح من الدوران،  $\frac{1}{2}$  وحدة،  $\frac{3}{2}$  وحدة،  $\frac{5}{2}$  وحدة وهكذا.

إذاً، لماذا الجسيمات التي لها نصف عدد صحيح من الدوران تنغمس في رد فعل الموجة، بينما الجسيمات ذات العدد الصحيح من الدوران ليس لها نفس الصفة؟ هذا بالتأكيد سؤال جيد جداً. لكن هذا يقودنا إلى نهاية ما نستطيع بسهولة مواكبته بدون رياضيات مبهمة. صَحَّ ريتشارد فاينمان هذا: "يبدو هذا أحد الأماكن القليلة في الفيزياء حيث هناك قانون ينص ببساطة ان لا يكون سهل الشرح. من المحتمل أن ذلك يعني أننا لا نملك الدليل الكامل للمبادئ الأساسية المتضمنة".

فيْنمان الذي عمل في القنبلة الذرية ونال جائزة نوبل للفيزياء عام 1965، كان أعظم فيزيائي قابل للجدل في مرحلة ما بعد الحرب. وإذا وجدت أفكار النظرية الكمية صعبة قليلاً، فانت في شركة جيدة جداً. انه من العدل القول إنه وبعد 80 سنة من ولادة النظرية الكمية، ما يزال الفيزيائيون ينتظرون رفع الغممة ليروا بوضوح ماذا يحاولون ان يخفوا عن الحقيقة الأساسية. وكما قال فيْنمان بنفسه: "باعترفاً أستطيع القول انه لا يوجد شخص يفهم الميكانيك الكمي".

ان اخفاء لغز الدوران تحت السجادة يجعلنا نصل نهائياً إلى مضامين رد فعل الموجة للفيرميونات كالإلكترونات. وبدلاً من نواتي الهيليوم، فكر بالإلكترونين، كل منهما يصطدم بالآخر، وبعد التصادم فانهما يرتدان بنفس الاتجاه. سمي الإلكترونان A وB، وسمي الاتجاهان 1 و2 (حتى ولو كانا نفس الاتجاه). وبالضبط كما في حالة النوى المتماثلة فهناك احتمالان غير قابلين للتمييز. فالإلكترون A يمكن أن يرتد في الاتجاه 1 والإلكترون B يمكن أن يرتد في الاتجاه 2، أو الإلكترون A يرتد في الاتجاه 2 والإلكترون B يرتد في الاتجاه 1.

وحيث إن الإلكترونات هي فرميونات فالموجة الموافقة لاحتمال واحد سوف ترتد قبل ان تتداخل مع الموجة الموافقة لاحتمال الآخر. وبشكل حاسم، فالموجتان لكلا الاحتمالين متماثلتان. وبعد كل ذلك، نحن نتكلم حول جسيمتين متماثلتين تؤديان أشياء متماثلة. لكن إذا اضفت موجتين متماثلتين، واحدة منهما ارتدت، فقمة الأولى ستكون مطابقة بالضبط لمنخفض الثانية. وبالتالي تلغي إحداها الأخرى. وبكلمات أخرى، احتمالية ارتداد الإلكترونين بنفس الاتجاه تساوي صفرًا وهذا مستحيل بناتاً.



هذه النتيجة مستبعدة الحدوث. لقد وجد ان الإلكترونين ليسا فقط غير ممنوعين من الارتداد في نفس الاتجاه، بل وممنوعين من القيام بنفس الشيء لفترة. هذا المنع، يعرف بمبدأ الاستثناء لباولي، وذلك بعد ان توصل الفيزيائي النمساوي فولف غانغ باولي إلى السبب النهائي لوجود الاقزام البيضاء.

وبينما من المؤكد ان الإلكترون لا يمكن أن يحصر في حجم صغير جداً من الفضاء، فإن هذا لم يشرح بعد لماذا كل الإلكترونات في القزم الأبيض لا تتزاحم مع بعضها في الحجم الصغير من الفضاء. إن مبدأ الاستثناء لباولي أعطى الجواب. الإلكترونان لا يمكن أن يكونا بنفس الحالة الكمية. ان الإلكترونين كحالة غير اجتماعية يتجنبان بعضهما البعض مثل البواء.

وبسبب مبدأ اللادقة لهايزنبرك فهناك صندوق بحجم مصغر، حيث يمكن للإلكترون ان يضغط بواسطة جاذبية القزم الأبيض. على كل حال، وبسبب مبدأ الاستثناء لباولي، فإن كل إلكترون يتطلب صندوقاً لنفسه. وهذان تأثيران يعملان بتناسق، ويعطيان ظاهرياً غازاً ضعيفاً من الإلكترونات الضرورية للصلاة لمقاومة ضغطها من قبل جاذبية القزم الأبيض الهائلة.

فعلياً لا يزال يوجد شيء رقيق هنا. إن مبدأ الاستثناء يحول دون قيام عنصرين بالشيء نفسه إذا كانا متشابهين. ولكن الإلكترونات لديها طريقة لتكون مختلفة عن بعضها وذلك بحسب دورانها. فالإلكترون يبرم باتجاه دوران عقارب الساعة، والثاني يبرم باتجاه عكس دوران عقارب الساعة<sup>(3)</sup>. وبسبب هذه الصفة لدى الإلكترونات، يسمح للإلكترونين ان يحتلا نفس الحجم من الفضاء. وربما يكونان غير

---

(3) الفيزيائيون يسمون الدوران المتناوب للاتنين برماً علوياً وبرماً سفلياً. لكن هذه فقط صفة تقنية.

اجتماعيين، ولكنهما ليسا وحيدين تماماً! والاقزام البيضاء هي أهداف يومية صلبة. وعلى كل حال، فمبدأ الاستثناء لباولي لديه أكثر من المضامين الدنيوية. وخصوصاً أنه يشرح لماذا هناك اعداد كثيرة جداً من الذرات ولماذا الكون من حولنا هو مكان معقد ومثير.

### لماذا الذرات ليست متشابهة

وبالعودة إلى ما سبق، فإنه فقط الأمواج الصوتية المحصورة في المزمار تستطيع التذبذب بطرق محصورة، وأيضاً الأمواج المرافقة للإلكترونات المحصورة بالذرة تتذبذب بما يوافق المدار المحتمل للإلكترون عند مسافة محددة من النواة المركزية وبطاقة محددة أيضاً. (وبالتأكيد المدار هو المكان الأكثر احتمالاً لتحديد إلكترون حيث لا يوجد شيء بالتحديد بنسبة 100% لمسار مؤكد للإلكترون أو أي جسيمة محتملة).

لقد احصى الفيزيائيون والكيميائيون المدارات. فمعظم المدارات الداخلية وما تعرف بالحالة الأرضية ترقم بـ 1، والمدارات المتعاقبة على مسافة أبعد من النواة ترقم 2، 3، 4 وهكذا. ان وجود الاعداد الكمية - كما يقولون - هو مجدداً تأكيد حول كيف أن كل شيء في العالم المجهري - بما فيها مدارات الإلكترونات - يأتي في خطوات متعاقبة مع عدم امكانية للقيم الوسطى.

وحين يقفز الإلكترون من مدار لآخر أقرب للنواة، تفقد الذرة طاقة، والتي تكون بشكل فوتون من الضوء. وطاقة الفوتون مساوية بالضبط لفرق الطاقة بين المدارين. والعملية المعكوسة تتضمن ذرة تمتص فوتوناً بطاقة مساوية لفرق الطاقة بين المدارين. وفي هذه الحالة، يقفز الإلكترون من مدار لآخر أبعد عن النواة.

هذه الصورة من الانبعاث والامتصاص للضوء تشرح لماذا تتوافق طاقات الفوتون الخاصة فقط مع ترددات خاصة، تلفظ خارجاً أو تمتص بكل انواع الذرات. ان الطاقات الخاصة هي فروق طاقة بين مدارات الإلكترون. والسبب في وجود عدد محدود من المدارات المسموح بها هو أن هناك عدداً محدداً من مدارات الانتقال.

لكن الأشياء لا تبدو بسيطة. فموجات الإلكترون يسمح لها بالتذبذب في داخل الذرة وتصبح معقدة جداً بأشياء ثلاثية الابعاد. وربما تتوافق مع الإلكترون الذي لا يجب فقط أن يكون موجوداً على مسافة معينة من النواة ولكن يجب أن يكون في بعض الاتجاهات أكثر من اتجاهات أخرى. فمثلاً إن موجة الإلكترون قد تكون أكبر من القطبين الشمالي والجنوبي للذرة من دون الاتجاهات الأخرى. والإلكترون في مدار معين يجب أن يتواجد فوق القطبين الشمالي والجنوبي.

وإن وصف اتجاه بفضاء ثلاثي الأبعاد يتطلب عددين. ففي الكرة الأرضية ان خطوط العرض والطول مطلوبة. نفس الشيء يضاف للاعداد المحددة مسافاتها من النواة، فموجة الإلكترون ذات الارتفاع والتي تتغير مع الاتجاه تتطلب أكثر من عددين كمييين لوصفها. ما يجعل الاعداد ثلاثة. وإدراك حقيقة أن مدارات الإلكترون غير متشابهة كلياً أكثر من المدارات المألوفة - مثلاً مدارات الكواكب حول الشمس - تُعطى الاسم الخاص: أفلاك.

والشكل الدقيق لمدارات الإلكترون يجعله هاماً بشكل حاسم لإثبات كيف أن الذرات المختلفة تلتصق معاً لتؤلف جزيئات مثل الماء وأوكسيد الكربون. والمفتاح هو الإلكترون الاقصى بعداً. كمثال، إن الإلكترون البعيد في ذرة ما ربما يتشارك مع ذرة أخرى، مكوناً رابطة كيميائية. حيث يلعب الإلكترون الأبعد بالضبط دوراً هاماً. إذن إذا كان الاحتمال الأكبر لتواجده فوق القطب الشمالي أو الجنوبي، فالذرة ستكون بالأساس

مرتبطة مع الذرة الأخرى بقطبيها الشمالي أو الجنوبي.

إن العلم الذي يهتم بعدد لا يحصى من الطرق حيث الذرات تترابط مع بعضها هو علم الكيمياء. والذرات هي أحجار لعبة الليغو. وبتجميعها بطرق مختلفة، فإنه من الممكن ان نصنع وردة أو قضيباً من الذهب أو إنساناً. ولكن الطريقة التي تتجمع بها أحجار لعبة الليغو لتكوين تنوع مذهل من الأشياء التي نراها من حولنا محدّدة بواسطة النظرية الكمية.

وبالتأكيد السبب الملاحظ لوجود عدد كبير من التجمعات لأحجار لعبة الليغو هو ان هناك أكثر من نوع واحد من الأحجار. والطبيعة بالحقيقة تستعمل 92 حجراً من لعبة الليغو. وهي مرتبة من الهيدروجين، الذرة الاخف في الطبيعة، إلى اليورانيوم، الاثقل. لكن لماذا هناك عدد كبير من الذرات المختلفة؟ لماذا كل الذرات ليست متشابهة؟ ومرة أخرى، فكل شيء يعود للنظرية الكمية.

### لماذا الذرات كلها ليست متشابهة

الإلكترونات المنغمسة في مجال كهربائي للنواة تشبه كرات القدم المنغمسة في وادٍ مبلل بالماء. وعلى احسن ما يكون، يجب أن تجري الكرات بسرعة باتجاه أسفل التلة إلى المكان الأكثر استقراراً؛ وهو المدار الداخلي. ولكن إذا كان ذلك ما تقوم به الإلكترونات، فكل الذرات ستكون تقريباً بنفس الحجم. بشكل أكثر دقة، بما أن الإلكترونات الخارجية هي التي تحدد كيف تتماسك الذرة، فإن كل الذرات ستترابط بالضبط بنفس الطريقة. فالطبيعة لها نوع واحد من حجر لعبة الليغو لكي تلعب به، والعالم هو بالواقع المكان الأكثر غباءً.

والذي ينقذ العالم من كونه المكان الغبي هو مبدأ الاستثناء لباولي. فإذا كانت الإلكترونات بوزونات، فبالتأكيد هذا صحيح حيث ان إلكترونات الذرة

ستتراكم على بعضها البعض في المدار الداخلي. لكن الإلكترونات ليست بوزونات بل فيرميونات؛ والتي تشتمل لكونها مزجحة مع بعضها.

كيف يحدث ذلك، هناك انواع مختلفة من الذرات لها اعداد مختلفة من الإلكترونات (وبالتأكيد انها متوازنة بعدد متساوٍ من البروتونات في نوياتها). فمثلاً الذرة الاخف - الهيدروجين - لها إلكترون واحد، والاثقل في الطبيعة - اليورانيوم - لها 92 إلكترون. وهنا تبدو النواة غير مهمة. ركّز بدلاً من ذلك على الإلكترون. في البداية، تصوّر ذرة هيدروجين، وبعد ذلك أضف إلكترونًا واحدًا في كل مرة.

فالمدار الأول هو الداخلي، وهو الأقرب إلى النواة. وبينما تضاف الإلكترونات، فإنها ستذهب أولاً إلى هذا المدار. وبعد ان يكتمل ولا يعود بإمكانه استيعاب المزيد من الإلكترونات، ستنتقل الإلكترونات إلى المدار اللاحق، الأبعد عن النواة. وبامتلاء المدار، سيمتلئ المدار الذي يليه وهكذا.

كل المدارات الموجودة في مسافات محددة من النواة - مع اعداد كمية مختلفة الاتجاهات - يقال عنها القشرة. والعدد الاقصى للإلكترونات لتتواجد في القشرة الداخلية هو اثنان، إلكترون واحد يبرم مع اتجاه عقارب الساعة والآخر يبرم عكس اتجاه عقارب الساعة. وذرة الهيدروجين لها إلكترون واحد في هذه القشرة. وذرة الهيليوم إلكترونان في نفس القشرة.

والذرة التي تليهما هي الليثيوم، فلها 3 إلكترونات. بما أنه لا يوجد مكان لأكثر من إلكترونين في المدار الداخلي، فالإلكترون الثالث يبدأ مع قشرة جديدة أبعد عن النواة (مدار جديد).

ان سعة هذه القشرة (المدار) هي ثمانية إلكترونات. وبالنسبة للذرات التي تحتوي على أكثر من عشرة إلكترونات، ستمتلئ هذه القشرة، وبعد ذلك ستبدأ قشرة أخرى أبعد عن النواة بالامتلاء بالإلكترونات.

وحسب مبدأ الاستثناء لباولي الذي يمنع أكثر من إلكترونين ان يكونا بنفس المدار - من أن تكون لديهما نفس الاعداد الكمية - فإنه هو السبب الذي يجعل الذرات مختلفة عن بعضها البعض. وكذلك إنه المسؤول عن صلابة المادة. كما قال ريتشارد فاينمان: "إنها الحقيقة بأن الإلكترونات لا تستطيع ان تعتلي على الأخرى لتصنع طاولات أو أي شيء صلب". وبما أن الأسلوب الذي تسلكه الذرة - أي تماثلها - يعتمد على الإلكترونات الخارجية، فالذرات التي لها اعداد متشابهة من الإلكترونات في قشراتها الخارجية تميل لأن تسلك الطريق نفسه. فالليثيوم الذي لديه 3 إلكترونات، لديه واحد من إلكتروناته على القشرة الخارجية. وأيضاً الصوديوم لديه 11 إلكترونات. يترابط الليثيوم مع الصوديوم بأنواع متشابهة من الذرات ولهما صفات متماثلة.

والكثير من الفيرميونات تخضع لمبدأ الاستثناء لباولي. فماذا عن البوزونات؟ هذه الجسيمات لا يطبق عليها مبدأ الاستثناء، وتوصف بأنها مختلفة جداً، ابتداءً بالليزر، ومروراً بالتيارات الكهربائية الدائمة الجريان، وانتهاءً بالسوائل التي تجري في أعلى التلة.

### لماذا البوزونات تبدو مجتمعة مع مثيلاتها

لنفترض ان جسيمين من البوزونات يطيران في منطقة ضيقة من الفضاء. احدهما يضرب حاجزاً أثناء مساره ويرتد، والثاني يضرب عقبة ثابتة ثم يرتد. لا يهم ما هما هذان الجسمان المعيقان ربما يكونان نوى أو أي شيء آخر. والشئ المهم هو الاتجاه الذي ارتدا عنه، وهو نفسه لكلاهما. لنسم الجسيمين A و B، والاتجاهين اللذين ارتدا فيهما 1 و 2 (علاوة على أنهما نفس الاتجاه!). فهناك احتمالان: الأول ان الجسيمة A تنتهي في الاتجاه 1 والجسيمة B تنتهي في الاتجاه 2. والثاني ان A تنتهي في الاتجاه 2 و B تنتهي في الاتجاه 1. وبسبب كون A و B

جسيمين انفصامين في العالم المجهرى، فهناك موجة موافقة لـ A تذهب بالاتجاه 1، وأخرى موافقة لـ B تذهب بالاتجاه 2. وكذلك هناك موجة موافقة لـ A تذهب بالاتجاه 2 وأخرى موافقة لـ B تذهب بالاتجاه 1.

فإذا كان البوزونان جسيمين مختلفين فلن يكون هناك تداخل فيما بينهما. إذاً، فاحتمال ان يلتقط الكشاف الجسيمين المرتدين هو ببساطة مربع ارتفاع الموجة الأولى مضاف لمربع ارتفاع الموجة الثانية، وهكذا فاحتمال أي شيء يحدث في العالم المجهرى هو دائماً مربع ارتفاع الموجة المشاركة للجسيمة. ولذا فإنه يوجد - ويجب أن يؤخذ على محمل الجد - احتمالان، وهما متشابهان تقريباً. لذا فلاحتمال الكلي هو ببساطة ضعف احتمال كل حدث يكون قد حدث منفصلاً.

ونقل ان الموجات لها ارتفاع 1 لكلتا العمليتين. وهذا يعني إذا ربّعنا وأضفنا لنحصل على احتمال لكلتا العمليتين، فسيكون  $2 = (1 \times 1) + (1 \times 1)$ . والآن الاحتمال 1 توافق 100%، إذا الاحتمال 2 هو مضحك وبوضوح. ولنواصل ذلك، فلا يزال من الممكن مقارنة الاحتمالات، وهو ما يقودنا إليه كل هذا.

الآن لنقل ان البوزونين هما جسيمان متماثلان. وفي هذه الحالة، الاحتمالان A في الاتجاه 1 و B في الاتجاه 2، وكذلك A في الاتجاه 2 و B في الاتجاه 1 غير قابلين للتمييز. ولأنهما غير قابلين للتمييز، فالأمواج المشاركة معهما يمكن أن تتداخل مع بعضها البعض. ومجموع ارتفاعهما هو  $(1+1)$ . والاحتمال بالنسبة لكلتا العمليتين سيكون  $4 = (1+1) \times (1+1)$ .

وهذا يتضاعف مرتين عندما تكون البوزونات غير متماثلة. وبكلمات أخرى، ان كان البوزونان متماثلين، فارتدادهما بنفس الاتجاه أكبر بمرتين مما لو كانا مختلفين. أو لنضعه على طريق آخر، فالبوزون يرتد مرتين بالاتجاه الخاص. إذا ارتد البوزون الآخر بالاتجاه ذاته. والبوزونات الأكثر هي الأكثر تأثيراً. فإذا كان هناك ن من

البوزونات، فاحتمال أن تترد جسيمة بنفس الاتجاه هي  $(1+n)$  مرة أكبر منه في حال عدم وجود بوزونات. تكلم عن سلوك الجماعة. فالوجود المجرد للبوزونات الأخرى التي تقوم بأشياء كثيرة يزيد الاحتمال بأن بوزوناً آخر يعمل نفس الشيء. هذه الصفة المميزة تميل لأن تملك تطبيقات عملية هامة كما في انتشار الضوء.

### الليزرات والسوائل التي تصعد إلى الأعلى

لأعتبارات بعيدة، كل العمليات تضمنت جسيمات تتصادم وتترد في اتجاه محدد. لكن ذلك ليس مهماً. فالمجاذلات التي استعملت تستطيع أن تطبق بالتساوي تماماً لإحداث (صنع) الجسيمات، فمثلاً إن إحداث الفوتونات بالذرات هو انبعاث الضوء.

والفوتونات هي بوزونات، لذا فإن احتمال أن تبعث الذرات فوتوناً بالاتجاه الخاص مع طاقة محددة تزداد بعامل  $(1+n)$  إذا كان هناك مسبقاً عدد  $n$  من الفوتونات تطير بذلك الاتجاه. فكل فوتون جديد ينبعث يزيد فرصة فوتون آخر للانبعاش. وهناك الآلاف بل الملايين من الفوتونات تطير عبر الفضاء معاً، وإن احتمال انبعاش الفوتون جديد وكبير.

وبالطبع النتائج جدلية. فبينما ينتج مصدر الضوء الطبيعي كالشمس خليطاً فوضوياً من الفوتونات بكل الطاقات المختلفة، يولد الليزر تياراً غير قابل للتوقف من الفوتونات تتموج خلال الفضاء في خطوات محكمة، والليزرات على كل حال هي بعيدة عن النتيجة المميزة للبوزونات. فخذ مثلاً سائل الهيليوم المؤلف من ذرات هي عبارة عن بوزونات. هيليوم-4 - ثاني أكبر ذرة معروفة في الكون - هي أحد المصادر الضوئية لدى الطبيعة<sup>(4)</sup>. ولقد كان الهيليوم-4 العنصر

(4) هيليوم-4 لها أربع جسيمات في نواتها، بروتونان ونيوترونان. ومن نفس العائلة، إن ذرة هيليوم-3، لها نفس العدد من البروتونات وقل بواحد من النيوترونات.



الوحيد الذي اكتشف على الشمس قبل اكتشافه على الأرض، وله أقل نقطة غليان في كل السوائل (-269) درجة مئوية. وبالحقيقة، انه السائل الوحيد الذي لا يتجمد ليصبح صلباً، وعلى الأقل ليس في ضغط الغلاف الجوي الطبيعي. وكل هذه الأشياء، غير ذات أهمية بجانب سلوك الهيليوم تحت (-271) درجة مئوية. فتحت درجة لمبدأ سيكون سائلاً محسناً.

عادة، يقاوم السائل أي محاولة لتحريك جزء واحد بالنسبة إلى الآخر. فمثلاً دبس السكر يقاوم عند تحريكه بالملعقة، والماء يقاوم عندما تعوم فيه. والفيزيائيون سموا هذه المقاومة باللزوجة. وبالحقيقة انها احتكاك السائل. لكن بينما استعملنا الاحتكاك بين أجسام صلبة تتحرك اجزاؤها - مثل الاحتكاك بين عجلات السيارة والطريق - فنحن غير متآلفين مع الاحتكاك بين أجزاء من السائل الذي تتحرك اجزاؤه. فإن دبس السكر، وبسبب مقاومته القوية، يقال عنه ان لديه لزوجة عالية، أو أنه لزج جداً.

واللزوجة تظهر نفسها فقط عندما يتحرك جزء واحد من السائل بشكل مختلف عن الآخر. ففي المستوى المجهرى للذرات، هذا يعني انه يمكن ضرب بعض ذرات السائل في حالات تختلف عن حالات محتملة بذرات أخرى.

وفي سائل ذي درجة حرارة اعتيادية، تكون الذرات في حالات محتملة عديدة في كل الهزات حولها وبمختلف السرعات. لكن عند انخفاض الحرارة، ستصبح أكثر انائية وأقل انفتاحاً. وبالرغم من هذا التأثير، لا تكون كل الذرات بنفس الحالة؛ حتى في درجات الحرارة المنخفضة.

لكن الأشياء تختلف في سائل البوزونات مثل سائل الهيليوم. وتذكر إذا كان هناك عدد ن من البوزونات في حالة خاصة، فاحتمال دخول بوزون آخر الحالة هو  $(n+1)$  أكبر مما لو لم يكن هناك جسيمات أخرى. وفي سائل الهيليوم، هناك ذرات هيليوم لا تحصى، حيث إن ن عدد كبير

جداً بالحقيقة. وبالنتيجة يبرد سائل الهيليوم حتى حرارة منخفضة كافية،  
عندما تحاول كل ذرات الهيليوم فجأة الازدحام بنفس الحالة.

حين تكون كل ذرات الهيليوم في الحالة نفسها، فإنه من المستحيل  
- أو على الأقل صعب جداً - بالنسبة لجزء واحد من السائل أن يتحرك  
بشكل مختلف عن جزء آخر. فإذا تحركت بعض الذرات قرب بعضها،  
يتوجب على كل الذرات أن تتحرك قرب بعضها البعض. وبالنتيجة  
سائل الهيليوم ليس لديه لزوجة. فيصبح سائلاً محسناً.

وفي سائل الهيليوم المحسن هناك نوع من الصلابة في حركة  
الذرات. فإنه من الصعب جداً جعل السائل يعمل أي شيء، والسبب هو  
أنه إما يتوجب عليك أن تجعل كل الذرات تعمل الشيء معاً أو لا تعمل  
أي شيء على الإطلاق. فمثلاً، إذا وضعت ماء في دلو وبرمت الدلو  
حول محوره، فالماء سيرم مع الدلو. والسبب ان الدلو يُشَدُّ حول ذرات  
الماء، والتي تكون على اتصال مباشر مع جوانب الدلو، والتي بدورها  
تسحب على الذرات الأبعد من الجوانب، وهكذا، حتى يدور الجسم  
الكلي للماء مع دوران الدلو. وبوضوح ليصل الماء إلى الحالة التي  
يدور فيها مع الدلو، فإن أجزاء مختلفة من السائل يجب أن تتحرك  
بشكل متناسب مع بعضها البعض. لكن كما اشرنا، هذا صعب جداً  
بالنسبة للسائل المحسن. فكل الذرات تتحرك معاً أو لا تتحرك على  
الإطلاق. وبالنتيجة، إذا وضع سائل الهيليوم في دلو، وبرم الدلو، فلن  
يكون لذلك معنى وهدف حتى لو دار الدلو. بدلاً من ذلك، يبقى سائل  
الهيليوم المحسن معانداً؛ ويظل كذلك بينما الدلو يبرم.

ان الحركة التعاونية للذرات في المائع المحسن لسائل الهيليوم تقود  
إلى ظواهر مذهشة. فمثلاً، المائع المحسن يجري خلال فجوات صغيرة  
مستحيلة حيث لا يستطيع سائل آخر القيام بذلك. وهو المائع الوحيد  
الذي يستطيع الجريان إلى الأعلى.

وللذكر يقاس نسبة إلى الضوء. والهيليوم-3 يميل ليكون اعتيادياً، حيث يوجد بشكل سائل. والسبب هو ان جزيئات هيليوم-3 هي فرميونات. والمائعية المحسنة هي صفة للبوزونات. وفعلياً ليس كل هذا صحيحاً. فالعالم المجهرى مليء بالظواهر المفاجئة. وفي حالة خاصة، الفرميونات لها سلوك شبيه بسلوك البوزونات!

### التيارات الكهربائية التي تجري إلى الابد

إن الحالة الخاصة - عندما تشبه الفيرميونات في سلوكها البوزونات - هي تيار كهربائي في المعدن. ولأن الإلكترونات في المدارات الأبعد لذرات المعدن هي ضعيفة الرابطة، فبالإمكان ان تكسر الرابطة لتتحرر. وإذا سلطت الفولتية بين نهايتي المعدن باستخدام بطارية، فكل الإلكترونات المتحررة والتي لا تحصى ستنموح خلال المادة كتيار كهربائي<sup>(5)</sup>.

والإلكترونات هي بالتأكيد فيرميونات. مما يعني انها غير اجتماعية. وتصور سُلماً خشبياً مع درجات موافقة لحالات الطاقة العالية. فالإلكترونات سوف تملأ المدارات الشبيهة بالعتبات باثنين في وقت واحد من الأسفل (تزدحم البوزونات بنجاح على المدارات السفلى). إن الحاجة لفصل المدار بزوج من الإلكترونات يعني ان إلكترونات المعدن لديها طاقة أعلى من المعدل.

لكن هناك أحداث غريبة تحصل عند تبريد المعدن إلى درجة قرب الصفر المطلق، وهي الحرارة الأكثر انخفاضاً. عادة كل إلكترون يسافر خلال المعدن بشكل مستقل بالكامل عن بقية الإلكترونات. وبينما

---

(5) لماذا لا نتحدث عن المعدن؟ الشرح الكامل يتطلب نظرية كمية، لكن ببساطة الإلكترونات الموصلة والمنزوعة تشكل غيمة مشحونة سالبة تتخلل المعدن. إن الانجذاب بين هذه الغيمة وأيونات المعدن المنزوعة الإلكترون والمشحونة موجباً هي التي تلتصق المعدن مع بعضه البعض.

تنخفض درجة الحرارة، فذرات المعدن تتذبذب ببطء أكبر. وبالإضافة إلى ان الذرات أكبر ضخامة آلاف المرات من الإلكترونات، فالقوة الكهربائية الجذبية بين الإلكترون وذرة المعدن كافية لجذب الذرة باتجاهها إذا مر قريبها الإلكترون<sup>(6)</sup>. والذرات المسحوبة بدورها تسحب إلكتروناتاً آخر. وبهذه الطريقة، يجذب إلكترون واحد إلكتروناتاً آخر عبر ذرة المعدن. هذا التأثير يغير بعنف طبيعة جريان التيار عبر المعدن. وبدلاً من كونه مؤلفاً من إلكترونات مفردة، فإنه يتألف من إلكترونات زوجية تعرف بازواج كوبر. ولكن الإلكترون في كل زوج كوبر يبرم بأسلوب معاكس ويلغي أحده الآخر. ان ازواج كوبر هي بوزونات!

ان زوج كوبر شيء مدهش. والإلكترونان اللذان يكوّنان هذا الزوج ربما لا يكونان قريبين من بعضهما البعض في المعدن. وسيكون من السهل وجود آلاف الإلكترونات بين أحد زوجي الكوبر وشريكه. هذا هو تفصيل حاسم، وعلى كل حال، فالمفتاح هنا هو ان زوج كوبر هو بوزون. وعند درجة حرارة غاية في الانخفاض للموصلية الفائقة فإن كل البوزونات تزدحم في نفس الحالة، وتسلّك سلوكاً وكأنه مفرد؛ أي كوحدة لا تقاوم.

ففي المعدن الاعتيادي، يقاوم التيار الكهربائي باللاقلزات، ذرات شائبة تقف في طريق الإلكترونات وتعيق تقدمها خلال المعدن. وبينما بإمكان الذرة الشائبة أن تعيق بسهولة الإلكترون في المعدن الاعتيادي، إلا أنه من المستحيل بالنسبة لها أن تعيق زوج كوبر يكون في حلقة مفرغة مع مليارات المليارات من الأزواج الأخرى. ان الذرة الشائبة لا تستطيع تغيير مسار الجريان مثلما لا يستطيع الجندي وحده أن يوقف تقدّم جيش العدو. وكما ابتدأنا، فالتيار في الموصل الفائق يجري إلى الأبد.

---

(6) بصراحة، الذرات هي أيونات موجبة، والاسم أعطي لذرات فقدت إلكترونات.

القسم الثاني

أشياء كبيرة



## موت المكان والزمان

كيف اكتشفنا ان الضوء هو الأساس الذي اسس عليه الكون،  
والزمان والمكان قد ازاحا هذا الاساس

عندما يجلس رجل مع بنت جميلة لساعة، تبدو الساعة وكأنها دقيقة.  
ولكن دعه يجلس على موقد نار لدقيقة، فإنها تبدو أطول من ساعة. هذه  
هي النسبية!

البرت اينشتاين

انها الأكثر مائة متر غرابية بالنسبة لأي شخص يراها. فبينما  
يجتاز العداءون حواجز البداية امامهم، ويباعدون خطوات الجري،  
فإنه يبدو للمتفرجين ان العدائين أكثر نحافة. الآن، وهم يندفعون  
خارج الازدحام، فإنهم يظهرون كنتيجة مسلم بها، لكن ذلك ليس هو  
بالشيء الغريب، ولا بالرمية الطويلة. فإن أذرع العدائين وسيقانهم  
تتحرك بحركة بطيئة جداً كما لو أنهم يركضون ليس خلال الهواء بل  
خلال مادة لزجة. وفي السابق، كان الازدحام بداية لتصفيفة بطيئة.  
وبعض الناس يمزقون تذاكرهم ويقذفون بها بغضب في الهواء. وفي  
هذه النسبة من التقدم المثير للشجن، فمن الممكن أن يستغرق  
العداءون ساعة ليصلوا إلى عتبة النهاية. وباشمئزاز واحباط، ينهض

المشاهدون عن كراسيهم، ويمشون واحداً تلو الآخر إلى خارج الملعب.

هذا المشهد يبدو مضحكاً كلياً. لكن من الخطأ ان يكون الأساس تفصيلاً واحداً؛ أي سرعة العدائين. فإذا استطاعوا الجري بسرعة أكبر بعشرة ملايين مرة، فإنه بالضبط ما سيشاهده كل واحد. وعندما تطير الأهداف بالماضي بسرعة عالية جداً، فإن المسافة تتقلص بينما الزمن يتباطأ<sup>(1)</sup>. انها نتيجة حتمية لشيء ما، استحالة مسكها بشعاع ضوئي.

وببساطة ربما تفكر بأن الشيء الوحيد غير القابل للمسك هو الذي يسافر في سرعة غير محددة. واللانهائية، تعرف بانها الرقم الأكبر القابل للتصور. ومهما يكن الرقم الذي تفكر به، فاللانهائية هي أكبر. وهكذا إذا كان هناك شيء يسافر بسرعة لانهائية، فمن الواضح انك لا تستطيع مطلقاً الحصول عليه جنباً إلى جنب. فإن اللانهائية تمثل حد السرعة الكونية النهائي.

وينتقل الضوء بسرعة هائلة - 300,000 كم/ثانية في الفضاء الفارغ - لكن هذه السرعة أبعد بقليل من السرعة اللانهائية. ومع ذلك، لا يمكن الامساك بشعاع الضوء، ولا يهم كم السرعة التي ينتقل فيها. ففي كوننا، ولأسباب ليس كل شخص يفهمها تماماً، تلعب سرعة الضوء دوراً بالسرعة النهائية. انها تمثل حد السرعة الكونية النهائية. واول شخص أدرك هذه الحقيقة المدهشة هو البرت اينشتاين حين كان يبلغ من العمر 16 سنة على أغلب الظن، وسأل نفسه السؤال التالي: ماذا يحدث لشعاع الضوء إذا استطعت الامساك به؟

(1) وبصراحة كبيرة، كل عداء يظهر انه يدور، لذا فالمتفرجون سيشاهدون جزءاً من الجانب البعيد لكل منهم؛ أي الجانب المواجه للمدرج. واعتيادياً يكون مختفياً. هذا التأثير القريب يعرف بالزيغ النسبي، أو البارقة النسبية. على كل حال، انه خلف هدف هذا الكتاب.



سأل اينشتاين هذا السؤال وأمل بالاجابة عليه فقط بسبب اكتشاف الفيزيائي الاسكتلندي جيمس كليرك ماكسويل. ففي عام 1868، لخص ماكسويل كل الظواهر المعروفة بالكهربائية والمغناطيسية؛ من عمل المحركات الكهربائية بسلوك المغنايط؛ مع مقدار من معادلات رياضية انيقة. المنحة غير المتوقعة لمعادلات ماكسويل كانت نتيجة موجة مؤكدة حتى اليوم، هي الموجة الكهربائية والمغناطيسية.

انتشرت موجة ماكسويل خلال الفضاء أشبه بانتشار موجة في بركة ماء، فهي ذات سمة ضاربة. وهي تنتقل بسرعة 300,000 كم/ثانية؛ أي بنفس سرعة الضوء في الفضاء الفارغ، وكذلك هي متطابقة جداً معها. وخمن ماكسويل بشكل صحيح بأن موجة الكهربائية والمغناطيسية لم تكونا أكثر من موجة ضوء. ولا أحد - عدا رائد الكهربائية مايكل فاراداي - لمّح بشكل طفيف إلى ان الضوء متصل بالكهربائية والمغناطيسية. ولكن ذلك كان قد كتب بشكل مثبت في معادلات ماكسويل؛ أي أن الضوء عبارة عن موجة كهرومغناطيسية.

فالمغناطيسية هي مجال قوة غير مرئي يصل خارجاً في الفضاء المحيط بالمغناطيس. ان المجال المغناطيسي لقضيب من المغناطيس على سبيل المثال يجذب تقريباً مواد معدنية مثل مسكات الاوراق. وتضخم الطبيعة كذلك المجال الكهربائي، وهو مجال قوة غير مرئي ممتد في الفضاء المحيط بالجسم المشحون كهربائياً. والمجال الكهربائي للمشط الباليستيكي المفروك بستره نايلون يمكن أن يجذب قصاصات ورق.

والضوء طبقاً لمعادلات ماكسويل هو موجة تتنوع خلال مجالات قوى غير مرئية، ويعتبر الأكثر شبيهاً بالأمواج خلال الماء. ففي حالة موجة الماء، الشيء الذي يتغير عند مرور الموجة هو مستوى الماء، حيث يصعد وينزل ويصعد وينزل. أما في حالة الضوء، فتعتبر نقوية

لمجالات القوى المغناطيسية والكهربائية التي تنمو ثم تموت وتنمو ثم تموت. (وفي الحقيقة إنَّ مجالاً واحداً ينمو والبقية تموت أو العكس بالعكس. لكن هذا غير مهم هنا).

لماذا الدخول في التفصيل المثير للموجة الكهرومغناطيسية؟  
الجواب هو لأن هذا التفصيل ضروري لفهم سؤال اينشتاين: ما الذي يحدث لشعاع الضوء إذا استطعت الإمساك به؟

لنقل انك تقود سيارة على الطريق السريع، ولحققتها سيارة أخرى تسير بسرعة 100 كم/ساعة. كيف تبدو السيارة الأخرى حين تقترب منها؟ بوضوح انها تظهر متوقفة. وإذا انزلت زجاج السيارة، فانك ربما تستطيع مناداة السائق الآخر رغم ضجيج المحرك. وبنفس الطريقة بالضبط، إذا استطعت الإمساك بشعاع الضوء، فإنه من المتوقع أن يبدو جامداً؛ أي أشبه بسلسلة من الموجات المجمدة في بركة.

على كل حال - وهذا هو الشيء الملاحظ بالنسبة لاينشتاين بعمر 16 سنة - إن معادلات ماكسويل لديها شيء مهم لنقوله حول الموجات الكهرومغناطيسية المجمدة، وكيف أن المجالات الكهربائية والمغناطيسية لا تكبر أو تتلاشى بل تظل مستقرة وواقفة إلى الأبد. ولا وجود لمثل هذه الأشياء! فيستحيل ان تكون الموجة الكهرومغناطيسية واقفة (جامدة).

إن اينشتاين، وبسؤاله المبكر بالنسبة لعمره، وضع اصبعه على التناقض أو اللاترابط، في قوانين الفيزياء. فإذا كنت قادراً ان تلحق بموجة الضوء، فستشاهد موجة كهرومغناطيسية واقفة، وهذا مستحيل. وهكذا لا ترى شيئاً مستحيلاً، ومستحيل ان تلحق بشعاع ضوء! وبكلمات أخرى، الشيء الذي لا يمكن للحاق به - وهو الشيء الذي يلعب دور السرعة اللانهائية في الكون - هو الضوء.

## احجار مؤسسة النسبية

ان عدم قابلية اللحاق بالضوء يمكن أن توضع في مكان آخر. تصور ان حد السرعة الكونية لانهائي (مع أننا نعرف انه ليس كذلك). مثلاً، يطلق الصاروخ من طائرة مقاتلة ويطير بسرعة لا نهائية. هل سرعة الصاروخ نسبة لأي شخص واقف على الأرض هي لا نهائية ومضافة لسرعة الطائرة؟ فإذا كانت كذلك، فسرعة الصاروخ نسبة للأرض هي أكبر من اللانهائية. لكن ذلك مستحيل لأن اللانهائية هي أكبر رقم قابل للتصور. والشئ الوحيد هو ان سرعة الصاروخ ما تزال سرعة لا نهائية. وبكلمات أخرى، سرعته لا تعتمد على سرعة مصدره؛ سرعة الطائرة المقاتلة.

ويتبع ذلك أنه في الكون الحقيقي، حيث دور السرعة اللانهائية متعلق بسرعة الضوء، فإن سرعة الضوء لا تعتمد على حركة مصدره. وكذلك الأمر - 300,000 كم/ثانية - ليس من المهم كم هي سرعة مصدر الضوء عند انتقاله.

ان سرعة فقدان الضوء المعتمد على حركة مصدره هي إحدى الدعامتين، حيث باشر اينشتاين في "عامه الاعجازي" سنة 1905 ببناء صورة جديدة وثرية للمكان والزمان، انها نظريته النسبية الخاصة. والدعامات الأخرى - المساوية للأولى في أهميتها - فهي مبدأ النسبية.

ففي القرن السابع عشر، لاحظ الفيزيائي العظيم الايطالي غاليليو ان قوانين الفيزياء غير متأثرة بحركة النسبية. وبكلمات أخرى، لاحظوا نفس الشئ، فليس من المهم مقدار السرعة التي تتحرك بها بالنسبة لشخص آخر. وفكر بالوقوف في مجال ماء، ورميك كرة لصديق على بعد عشرة امتار. الآن تصور انك في قطار متحرك وترمي الكرة لصديقك على بعد عشرة امتار على طول الممر. الكرة في كلتا الحالتين

تَنقَلَب عندك بنفس المسار. وبكلمات أخرى، إن مسار الكرة يتبع عدم الأخذ بحقيقة أنك في قطار محمل بالبراميل بسرعة 120 كم/ساعة. وبالحقيقة إذا كان زجاج القطار معتماً والقطار مثل المعلق البراق الذي يكون حر التذبذب، فلن تكون قادراً على إخبارهم بحركة الكرة - أو أي شيء آخر داخل القطار - سواء أكان القطار يتحرك أو لا يتحرك. ولأسباب لا أحد يعرفها، إن قوانين الفيزياء هي متشابهة، ولا يهم بأي سرعة تتحرك ما دامت السرعة ثابتة.

وعندما وضع غاليليو ملاحظته، فالقوانين التي كانت في رأسه هي قوانين الحركة التي في مسار القطار السريع الطائر في الهواء. كانت وثبة اينشتاين الجريئة لتمديد الفكرة لكل قوانين الفيزياء، بما فيها قوانين البصريات التي تجمع سلوك الضوء. وطبقاً لمبدأ النسبية، كل القوانين تبدو بالشكل نفسه بالنسبة للمراقبين المتحركين بسرعة ثابتة نسبة لبعضهم البعض. وفي القطار المعتم، لا تستطيع ان تعلم إن كان الضوء قد انعكس أو واصل مساره سواء أكان القطار متحركاً أو ثابتاً.

وبدمج مبدأ النسبية مع الحقيقة التي تقول ان سرعة الضوء هي نفسها، وبغض النظر عن حركة مصدرها، فإنه يمكن أن تستنتج صفة أخرى للضوء. ولنقل انك تنتقل بسرعة عالية باتجاه مصدر الضوء. فبأي سرعة ينتقل الضوء باتجاهك؟ حسناً، تذكر انه لا توجد تجربة لتؤكد من الذي يتحرك (ولنتذكر القطار المعتم). لذا فمن وجهة نظر عادلة نفترض انك واقف، ومصدر الضوء يتحرك باتجاهك. لكن تذكر أن سرعة الضوء لا تعتمد على سرعة مصدره. انها دائماً تساوي بدقة 300,000 كم/ثانية. وحيثما أنت واقف، فالضوء يصل بسرعة 300,000 كم/ثانية.

بالنتيجة، ليس فقط سرعة الضوء مستقلة عن حركة مصدره، بل إنها كذلك مستقلة عن أي شخص يراقب الضوء. وبكلمات أخرى، إن

أي شخص في الكون - ولا يهم بأي سرعة يتحرك - يقيس بالضبط نفس سرعة الضوء المساوية لـ 300,000 كم/ثانية. وما أبداه اينشتاين ليجيب عن نظريته الخاصة بالنسبية هو كيف أنه يمكن لكل شخص أن يقيس بدقة نفس سرعة الضوء. وهناك فقط طريقة واحدة: إذا كان المكان والزمان مختلفين تماماً عما يفكر به كل شخص حيالهما.

### تقلص المكان وتمدد الزمان

لماذا المكان والزمان يتدخلان في الأشياء؟ حسناً، إن سرعة كل شيء بما فيها سرعة الضوء هي المسافة في الفضاء حيث ينتقل الإنسان في فترة زمنية معطاة. تستعمل القوانين عادة لقياس المسافة، والساعات لقياس الزمن. وبالنتيجة، إن السؤال: كيف يستطيع أي كان بغض النظر عن حالته الحركية، أن يقيس سرعة الضوء؟ يمكن أن يُصاغ بطريقة أخرى. ماذا يحدث لقوانين وساعات الكل، عندما يقيسون مسافة انتقال الضوء في زمن معطى، فهل سيحصلون على سرعة 300,000 كم/ثانية بالضبط؟

في قشرة البندق، هذه هي النسبية الخاصة، وهي الوصفة لما يحدث للمكان والزمان بحيث إن كل شيء في الكون يوافق سرعة الضوء.

فكّر في سفينة فضاء تطلق شعاع ليزر على عينة من حطام الفضاء والتي تطير باتجاهها بسرعة 0.75 سرعة الضوء. فشعاع الليزر لا يستطيع ضرب الحطام بنفس سرعة الضوء. والطريقة الوحيدة لحدوث ذلك هي إذا كان هناك من يراقب الأحداث ويتوقع مسافة وصول الضوء المنتقل في وقت معطى أما دون توقع المسافة أو فوق توقع الزمن.

وبالحقيقة، وكما اكتشف اينشتاين يحصل الأمران. وبالنسبة لأي شخص يشاهد سفينة الفضاء من الخارج، فسيرى حركة تقلص القوانين وحركة تباطؤ الساعات. المكان ينكمش والزمان يتمدد، وكلاهما ينكمش بنفس الأسلوب الضروري لكي تصل سرعة الضوء إلى 300,000 كم/ثانية بالنسبة لكل شخص بالكون. وهذا يشبه التآمر الكوني الضخم. والشيء الثابت في كوننا ليس المكان أو تغير الزمان بل هو سرعة الضوء. وكل شخص آخر في كوننا ليس لديه الخيار لينظم نفسه للمحافظة على الضوء في موضعه المتفوق.

المكان والزمان كلاهما نسبي. والاطوال والفترات الزمنية تصبحان منحرفتين في سرعات قريبة من سرعة الضوء. ان رؤية شخص ما من المكان هي ليست نفسها لشخص آخر في المكان. وكذلك فترة شخص ما من الزمان هي ليست نفسها لشخص آخر.

والزمان بدوره يجري في معدلات مختلفة بالنسبة لمراقبين مختلفين اعتماداً على مقدار سرعة هؤلاء نسبة للآخرين. والتناقض بين دقات ساعاتهم ينال أكبر سرعة للحركة. فكلما سرت مسرعاً، كلما تباطأ عمرك<sup>(2)</sup>. انها الحقيقة المخفية لمعظم تاريخ البشرية. والسبب بسيط، ان تباطؤ الزمن هو الظاهر فقط عند سرعة قريبة من الضوء، وسرعة الضوء هي ضخمة جداً، وللمقارنة طائرة الكونكورد تطير بسرعة بطيئة عبر السماء. فإذا تغيرت سرعة الضوء إلى 30 كم/ساعة، فلن يحتاج الأمر إلى عبقري كايينشتاين ليكتشف الحقيقة. وان

(2) بالضبط، المراقب الواقف يرى الوقت يتباطأ للمراقب المتحرك بمعامل  $\gamma$  حيث  $\gamma = 1/\sqrt{1 - (v^2/c^2)}$  علماً ان  $c$  و  $v$  هما سرعة المراقب المتحرك وسرعة الضوء على التوالي. وبسرعة قريبة من سرعة الضوء، لا تصبح سرعة المراقب ضخمة، والوقت بالنسبة للمراقب المتحرك يتباطأ كثيراً حتى يقف!

تأثيرات النسبية الخاصة مثل تمدد الزمان وانكماش الطول ستُرى بوضوح لمعدل عمر 5 سنوات.

لكن مع أي زمان أو مكان، فالمسافة الفضائية بين أي شخصين تختلف بالنسبة لمراقبين مختلفين اعتماداً على مقدار سرعة حركتهما نسبة لبعضهما البعض. والتناقض في قوانينهما بين الأكبر والأسرع حركة. فكما قال اينشتاين: "كلما سرت مسرعاً، تكون أكثر نحافة"<sup>(3)</sup>. وهذا يكون دليلاً ذاتياً أن عشنا حياتنا متنقلين بسرعة قريبة من سرعة الضوء. لكن حياتنا كما نحن في خط الطبيعة البطيء لا ترى الحقيقة؛ بأن المكان والزمان سيزيخان الأساس الذي أسس عليه الكون، والسرعة الثابتة للضوء هي الأساس الذي بني عليه الكون.

(إذا فكرت ان النسبية هي صعبة فخذ فحواها من كلمات اينشتاين: "الشيء الأصعب في العالم هو فهم ضريبة دخل". وتجاهل كلمات حاييم وايزمان، الذي كان في رحلة بحرية مع العالم العظيم اينشتاين عام 1921 حين قال: "اينشتاين شرح لي نظريته، ومع وصولنا، كنت مقتنعاً تماماً انه فهمها!")

هل من الممكن لأي كان ان يسافر أسرع من الضوء؟ فلا شيء ممكن ان يمسك بشعاع من الضوء. لكن الاحتمالية الموجودة هناك هي ان جسيمات داخل النرة تعيش حياتها متنقلة يوماً أسرع من الضوء. والفيزيائيون سموا هذه الجسيمات الافتراضية تاشيونات. فإن كانت موجودة في المستقبل البعيد، فنحن نستطيع ايجاد طريقة لتغيير ذرات اجسامنا في التاشيونات والعودة اليها. عندئذ نستطيع السفر أسرع من الضوء.

(3) لنكون دقيقين في المراقبة، الواقف يرى طول الجسم المتحرك ينكمش بعامل  $\gamma$  حيث  $\gamma = 1/\sqrt{1 - (v^2/c^2)}$  علماً ان  $v$  و  $c$  هما سرعة المراقب المتحرك وسرعة الضوء على التوالي. وعندما تقترب السرعة من سرعة الضوء فإن  $\gamma$  تتضخم والجسم يصبح كنتيجة مسلّم بها باتجاه حركته.

إحدى هذا المسائل مع التاشيونات، هي من وجهة نظر المراقبين المتحركين، جسم يسافر أسرع من الضوء ويستطيع الظهور مسافراً في الزمن نحو الوراء! فهناك قصيدة فكاهية تقول:

صاروخ مستكشف يسمى الصانع،

سافر مرة أسرع من الضوء.

فسيظهر يوماً، بطريقة نسبية

عائداً في الليلة السابقة!

### مصدر مجهول

ان انتقال الزمن يفزع العيش في وضح النهار بالنسبة للفيزيائيين والسبب أنه يصعد احتمالية التناقض، والأحداث تقود إلى تناقضات منطقية أشبه برجوعك في الزمن، لتقتل جدتك. فإذا قتلت جدتك قبل ان تحمل بامك، فسيكون هناك جدال، كيف تكون قد ولدت لترجع في الزمن وتقتل جدتك؟ بعض الفيزيائيين، فكروا بأنه حتى الآن لم يكتشف قانون فيزيائي يتدخل ليمنع أشياء متناقضة من الحدوث، وهكذا فإن انتقال الزمن ربما يكون ممكناً.

### معنى النسبية

لكن ماذا تعني النسبية حسب مفهوم المكسرات والترايبس؟ حسناً، لنقل انه كان ممكناً لك السفر إلى أقرب نجم والعودة بسرعة 99.5% من سرعة الضوء. وبما ان نجم ألفا سنثوري يبعد حوالي 4.3 سنة ضوئية عن الأرض، فالذين تركوا الأرض سيصدهوك تعود بعد 9 سنوات ضوئية، مفترضين إيقاف رؤية المشهد. ومن وجهة نظرك فالمسافة إلى نجم ألفا سنثوري ستتقلص عشر مرات بسبب النسبية. وبالنتيجة، تستلزم رحلة العودة 9/10 السنة أو ما يعادل 11 شهراً. ولنقل انك غادرت في



يوم ميلادك الـ 21، وشوهد من ميناء الفضاء اخوك التوأم. فعند عودتك البيت، سيكون عمرك 22 سنة، وتوأمك سيكون بعمر 30 سنة<sup>(4)</sup>.

كيف يمكن أن يكون بقاء توأمك في البيت منطقياً في هذه المسألة؟ حسناً، يفترض بأنه عاش في حركة بطيئة خلال رحلتك. وبالتأكيد هذا يكفي، إذا كان ممكناً له مراقبتك داخل السفينة فهو يراك تتحرك كما لو كنت داخل الدبس، ومع كل ساعات طاقم السفينة التي تتقدم ببطء أكثر بحوالى عشرة أضعاف من الحالة الطبيعية. سيساهم توأمك بشكل صحيح في تقلص زمن النسبية. فكل هذه الساعات وكل شيء آخر على هذه الرحلة سيظهر متحركاً بسرعة طبيعية تماماً. هذا هو سحر النسبية. وبالتأكيد، كلما كنت أسرع بانتقالك إلى نجم ألفا سنثوري وعودتك منه، كلما كبر الفرق بين عمرك وعمر توأمك. وبسفرك سريعاً وبعيداً عبر الكون، سوف تعود لتجد توأمك قد مات ودفن منذ زمن. لا بل ستجد ان الأرض نفسها قد جفت وماتت. وبالحقيقة، إذا سافرت بسرعة الضوء، فالزمن يتباطأ بالنسبة لك، وبإمكانك رؤية تاريخ المستقبل كاملاً يتلألاً أشبهه بسينما تمضي قدماً. وكما قال الفيزيائي الروسي ايجور نوفيكوف: "ان احتمالية زيارة المستقبل هي تماماً مذهلة لأي شخص يتعلم المستقبل للمرة الأولى".

(4) فعلياً هناك عيب دقيق في هذه المناقشة. وحيث إنها الحركة نسبية، فإنها مبررة تماماً لتوأمك الأرضي لافتراض انها الأرض التي انحسرت من سفينتك الفضائية بنسبة 99.5% من سرعة الضوء. فعلى كل حال، هذه النظرة تقود إلى استنتاج مضاد أكثر من قبل، وذلك أن الوقت يتباطأ بالنسبة لتوأمك بشكل متناسب معك. وبوضوح، الوقت لا يمكن أن يكون بطيئاً لك، في ما يتعلق بالآخر. والحل لهذا التناقض التوأمي، كما هو معروف، هو إدراك ان سفينة الفضاء تتباطأ فعلياً وتعكس حركتها في نجم ألفا سنثوري. وبسبب هذا التوضيح، فإن كلاً من سفينتك الفضائية أو الأرض تتحرك بصورة غير متكافئة أو قابلة للتغير.

ولكن ليس لدينا حتى الآن القدرة على السفر لأقرب نجم والعودة منه بأقرب ما يمكن لسرعة الضوء (أو حتى 1% من سرعة الضوء). ومع ذلك، فإن تباطؤ الزمن قابل للكشف فقط في عالم اليوم. وتُجز التجارب بساعتين ذريتين دقيقتين جداً ومتزامنتين ومفصولتين. فتوضع إحداهما في طائرة تطير حول العالم بينما تبقى الأخرى بالبيت. وعندما تعود الساعة يجد التجريبيون بأن الساعة التي طارت حول العالم سجلت مروراً هامشياً أقل وقتاً من نظيرتها الباقية بالبيت. فالوقت الأقصر بقياس حركة الساعة هو بالضبط ما توقعه اينشتاين.

ان تباطؤ الزمن يؤثر على رواد الفضاء أيضاً. كما أشار لذلك نوفيكوف في كتابه القيم، نهر الزمن: "عندما عاد طاقم محطة الفضاء ساليوت السوفيتية إلى الأرض عام 1988 بعد دوران لمدة سنة بسرعة 8 كم/ثانية، فقد خطوا في المستقبل بجزء من 100 جزء من الثانية".

ان تأثير تباطؤ الزمن صغير، والسبب ان الطائرات ومركبات الفضاء تنتقل في جزء قليل من سرعة الضوء. وعلى كل حال، يبدو ذلك كبيراً جداً لميونات الشعاع الكوني، فالجسيمات داخل الذرة تُصنع حين تضرب الأشعة الكونية - نوى ذرات عالية السرعة قادمة من الفضاء - جزيئات الهواء في قمة الغلاف الجوي للأرض.

والمفتاح لمعرفة الميونات هو أنها وبشكل مأساوي تعيش بشكل قصير، وبمعدل، وتنتهي أو تتحلل بعد مرور جزء من 1.5 مليون جزء من الثانية. وبما أنها اندفعت خلال الغلاف الجوي بأكثر من 99.92% من سرعة الضوء، فهذا يعني انها تسافر بمجرد 0.5 كم قبل تدمير ذاتها. وهذا ليس بعيداً على الإطلاق عندما تترك بأن ميونات الأشعة الكونية وُجدت بحوالى 12.5 كم أعلى في الهواء. وليس أساسياً أنها يجب أن تصل إلى الأرض.

وبشكل متناقض مع كل التوقعات فكل متر مربع من سطح الأرض قد ضُرب بمئات عديدة من ميونات الشعاع الكوني كل ثانية. وبطريقة ما فهذه الجسيمات الصغيرة تخطط لتنتقل بشكل أبعد بخمسة وعشرين ضعفاً وكل ذلك بسبب النسبية.

إن الزمن المجرب لتسريع الميون هو ليس نفس الزمن المجرب لأي شخص على سطح الأرض. والميون له ساعة تنبيه داخلية والتي تخبر متى يتحلل. فعند نسبة 99.92% من سرعة الضوء، تتباطأ الساعة بمعامل ما يقارب 25 على الأقل للمراقب على الأرض. وبالنتيجة، تعيش ميونات الاشعاع الكوني 25 ضعفاً أطول مما لو كانت متوقفة، ويكفي الزمن للانتقال في كل الطريق نحو الأرض قبل تحللها. اما ميونات الشعاع الكوني على الأرض فتدين ببقاءها لتباطؤ الزمن.

فماذا يبدو العالم من وجهة نظر الميون؟ لنفكر في ذلك، فمن وجهة نظر الفضاء البعيد التوأم أو الساعة الذرية التي تطير حول العالم، فالزمن ينتقل بشكل اعتيادي. خذ الميون، انه ما يزال يتحلل بجزء من 1.5 مليون جزء من الثانية. ومن وجهة نظره، انه يقف مقاوماً ليصل سطح الأرض، والتي تقارب نسبة 99.92% من سرعة الضوء. لذلك تبدو المسافة التي ينتقل فيها تنقلص بمعامل 25، وتمكنه من الوصول إلى الأرض حتى مع عمر الزمن القصير جداً. انه التناقض الكوني العظيم بين الزمان والمكان مهما كانت السبل التي تنتظر اليها.

### لماذا يمكن أن تكون النسبية

إن سلوك الزمان والمكان في سرعات قريبة من الضوء هو بالفعل مدهش. وعلى كل حال، إن ذلك لا يجب أن يكون مفاجئاً لأحد. وبالإضافة إلى ذلك، تفيد تجربة يومنا بأن الفترة الزمنية لشخص ما هي

الفترة الزمنية لشخص آخر، والفترة المكانية لشخص ما هي نفسها لشخص آخر. واعتقادنا بكلا الشئيين هو بالحقيقة استناداً إلى فرضية غير ثابتة جداً.

خذ الوقت. تستطيع ان تصرف عمر الزمن كمحاولة عقيمة لتعريفه. أدرك اينشتاين أن التعريف المقيد الوحيد هو الشيء الخاص. فنحن نقيس مرور الزمن بالساعات الجدارية واليدوية. لذلك قال اينشتاين: "الزمن هو ما نقيسه بالساعة". (وفي بعض الأحيان، تحتاج لعقري ليوضح ما هو بديهي!).

فإذا ذهب كل شخص ليقس نفس الفترة الزمنية بين حدثين، فإن ذلك يكافئ القول بأن ساعاتهم تتحرك بنفس المعدل. لكن وكما يعرف كل شخص، هذا لا يحدث تماماً. فساعة المنبه ربما تتحرك ببطء قليلاً، وساعتك اليدوية ربما تتحرك بشكل أسرع قليلاً. وتغلبنا على هذه المسائل - الآن وفيما بعد - بمزامنتها. مثلاً: نسأل أياً كان عن الزمن الصحيح، وعندما يخبرنا، نصحح ساعتنا اليدوية طبقاً لذلك. أو نصغي لإشارة الزمن *الدقات* على قناة البي بي سي. لكن باستعمال هذه الدقات فإننا نوجد فرضية مخفية. والفرضية هي أن الاعلانات الراديوية لا تحتاج إلى وقت على الإطلاق لتنتقل إلى مذياعنا. وبالنتيجة عندما نسمع المذيع يقول انها الساعة 6 صباحاً، فإنها الساعة 6 صباحاً.

الإشارة لا تأخذ وقتاً لانتقالها بسرعة لا نهائية. والعبارتان متكافئتان تماماً. لكن كما نعرف، سرعة الأمواج الراديوية هي شكل من اشكال الموجات غير مرئية للعين المجردة، وهي ضخمة جداً مقارنة مع كل المسافات البشرية التي لا يلاحظ أي تأخير في انتقالها إلينا من المرسل. إن افتراضنا ان الأمواج الراديوية تنتقل بسرعة لا نهائية - على الرغم من أنه خاطئ - ليس سيئاً. لكن ماذا يحدث إذا كانت المسافة من المرسل هي كبيرة جداً في الواقع؟ كما لو كان المرسل على المريخ.

عندما يكون المريخ قريباً، فالإشارة تحتاج لخمس دقائق لتطير عبر الفضاء إلى الأرض. فإذا سمعنا المذيع على المريخ يقول انها الساعة 6 صباحاً، ووضعنا ساعتنا على 6 صباحاً، فسوف نضعها على الوقت الخطأ. والطريقة هي بأن تأخذ بالحساب خمس دقائق تأخير زمني. وعندما نسمع 6 صباحاً، نضع الساعة على 6:05 صباحاً. فكل شيء بالتأكيد يتوقف على معرفة الزمن الذي تحتاج إليه الإشارة للانتقال من الأرض إلى المريخ. وعملياً يعمل هذا بانحناء إشارة الراديو من الأرض إلى المريخ والنقاط الإشارة العائدة. فإذا كانت الإشارة لرحلة العودة تستغرق 10 دقائق، فيجب أن تستغرق 5 دقائق للانتقال من سفينة الفضاء إلى الأرض.

ان نقص السرعة اللانهائية يعني عدم ارسال اشارات، لذلك فالمشكلة بحد ذاتها تتزامن مع ساعات أي شخص. وما يزال بالإمكان انجازها بارتداد اشارات الضوء للخلف وقديماً نحو الأمام، مع الأخذ بالحسبان تأخير الزمن. والمشكلة هي أن ذلك لا يعمل بشكل أفضل إلا إذا كان كل شخص واقفاً نسبة لشخص آخر. وفي الحقيقة، كل شخص بالكون يتحرك نسبة إلى شخص آخر. والدقيقة التي تبدأ عندها ارتداد اشارات الضوء بين المراقبين المتحركين، هي وصفة الثبات المدهشة لسرعة الضوء التي تبدأ لتحديث فوضى مع الحس المشترك.

ولنقل ان هناك سفينة فضاء تنتقل بين الأرض والمريخ، وانها تتحرك بسرعة جداً، بحيث تظهر الأرض والمريخ متوقفين. تخيل - كما حدث من قبل - انك ترسل إشارة راديو إلى المريخ، فترتد عن الكوكب وبعدئذٍ تلتقطها عند عودتها إلى الأرض. ان رحلة العودة تستغرق 10 دقائق، لذا نستنتج ان الإشارة وصلت إلى المريخ بعد حوالي 5 دقائق. ومرة أخرى، إذا التقطت إشارة من المريخ، ولنقل انها 6 صباحاً، فستستنتج من تأخر الزمن انها بالحقيقة 6:05 صباحاً.

والآن خذ بالاعتبار سفينة فضاء. افترض انه في اللحظة التي ترسل اشارتك الراديوية إلى المريخ فإنها تنطلق بأقصى سرعتها إليه. ففي أي وقت يستطيع المراقب على سفينة الفضاء أن يرى إشارة الراديو تصل إلى المريخ؟ فمن وجهة نظر المراقب، فالمريخ ممكن الاقتراب منه، لذا فإشارة الراديو لها مسافة قصيرة للانتقال. ولكن سرعة الإشارة هي نفسها بالنسبة لك وللمراقب على سفينة الفضاء. تلك هي الغرابة المركزية للضوء، انها بالضبط نفس السرعة لكل شخص.

وتذكر أن السرعة هي المسافة التي ينتقل فيها الشيء في زمن محدد. لذا إذا كان المراقب على سفينة الفضاء يرى الإشارة الراديوية تنتقل بمسافة أقصر، وب نفس السرعة، إذاً يجب عليه أن يقيس زمناً أقصر أيضاً. وبكلمات أخرى، يستنتج المراقب ان إشارة الراديو تنتقل إلى المريخ قبل أن تتوصل أنت إلى استنتاجك. وبالنسبة للمراقب، فالساعات على المريخ تدق ببطء أكبر. إذا التقط المراقب إشارة وقت من المريخ ولنقل عند الساعة 6 صباحاً، عندئذٍ سيصحح المراقب ذلك مستعملاً تأخيراً زمنياً أقصر ويستنتج ذلك، ولنقل عند 6:03 وليس 6:05 صباحاً التي استنتجتها.

الخلاصة هي ان المراقبين المتحركين نسبة لبعضهما البعض لا يحددان نفس الزمن لمسافة الحدث. فساعاتهما تكونان دائماً في سرعتين مختلفتين. وهذا الفرق هو بالتأكيد اساسي. فلا كمية ابداع في تزامن الساعات تستطيع ديمومة ذلك.

## ظلال الزمان - المكان

ان تباطؤ الزمان وتقلص المكان هما الثمن الذي يجب أن يدفعه كل شخص في الكون، ومهما كانت حالة حركتهما فإنهما يقيسان نفس سرعة الضوء. لكن ذلك في البداية فقط.

ولنقل ان هناك نجمين وسفينة فضائية تطفو في وسط معتم بينهما.  
وتخيل أن النجمين ينفجران ويبدوان انهما ينفجران آنياً، وأن شخصين  
أعميين يشاهدان الضوء لفترة قصيرة على الجانب الآخر. والآن تخيل  
سفينة الفضاء تنتقل في سرعة ضخمة على طول الخط الواصل بين  
النجمين، وتمر بصورة ملائمة فقط كما يراه النجمان ينفجران. فماذا  
يرى قبطان سفينة الفضاء؟

حيث ان السفينة تتحرك باتجاه نجم واحد وتبتعد عن الآخر،  
فالضوء من النجم الذي تقترب منه سوف يصل قبل الضوء من النجم  
المبتعدة عنه. فالانفجار سوف لا يظهر آنياً. وبالنتيجة، ان مفهوم الآنية  
هو سببية الثبوتية لسرعة الضوء. والأحداث التي يراها المراقب آنياً  
هي ليست كذلك بالنسبة لمراقب آخر يتحرك نسبة إلى المراقب الاول.  
والمفتاح هنا هو ان النجوم المتفجرة مفصولة بمسافة مكانية.  
والأحداث يراها شخص واحد في مكان واحد، وشخص آخر يراها في  
مكان وزمان آخر، والعكس بالعكس. وكذلك الأحداث يراها شخص  
واحد في الزمان فقط، بينما يراها الشخص الآخر في زمان ومكان.  
وزمن أي شخص يقيس سرعة الضوء هو ليس فقط زمن حركة  
أياً كان قد سبقك في سرعة عالية متباطئة بينما المكان يتقلص فيبدو لك  
كوقت وبعض اوقاتهم يبدو لك كمكان.

ان الفترة المكانية لشخص واحد هي فترة مكان وزمان لشخص  
آخر. وفترة زمان شخص ما هي فترة زمان ومكان لشخص آخر.  
وحقيقة ان الزمان والمكان قابلان للتبادل تخبرنا بشكل قابل للملاحظة  
وغير متوقع حول الزمان والمكان. وبالأساس فالأشياء نفسها تبدو  
جوانب مختلفة لنفس العملة.

والشخص الذي رأى هذا - كان أكثر وضوحاً حتى من اينشتاين  
نفسه - كان استاذ الرياضيات الاسبق لاينشتاين وهو هيرمان منكوسكي،

رجل شهير من المعروف أنه كان ينادي تلميذه "كلب كسول" والذي لا يساوي شيئاً. (لوضعه الدائم، وقد بلغ كل كلماته). قال منكوسكي: "من الآن فصاعداً، المكان لنفسه والزمان لنفسه سيغوصان في ظلال مجردة وسيبقى نوع من الاتحاد بينهما على قيد الحياة".

عمّد منكوسكي هذا الاتجاه المدهش للزمان والمكان "زمان-مكان". ومن الواضح أن وجوده سيكون شديد الصخب لنا إذا عشنا حياتنا متتقلين قريبين من سرعة الضوء. والعيش في طبيعة رتيبة جداً، يجعل حياتنا بلا تواصل. فكل ما نلمحه هو أوجه زمانه ومكانه.

وكما وضّح منكوسكي، الزمان والمكان يشبهان الظلال للزمان - المكان. فكّر بعضاً معلقة من سقف غرفة لكي تبرم حول وسطها وتحدد الاتجاه؛ أشبه بإبرة البوصلة. فالضوء البراق يرمي ظل العصا على جدار واحد، بينما الضوء البراق الثاني يرمي ظل الهدف على الجدار القريب. ونحن إذا اردنا ان نسمي حجم ظل العصا على جدار واحد "طوله" وحجم ظله على الجدار الآخر "عرضه" فماذا عندئذ يحدث للعصا عندما تدور حول محورها.

وبوضوح، فحجم الظل يتغير باختلاف الجدران. فإذا كان طوله قصيراً، فعرضه يكون اكبر، والعكس بالعكس. فحقيقة، الطول يظهر ليغير العرض، والعرض ليغير الطول، كما لو أنهما مظهران للشيء نفسه.

وبالتأكيد انهما مظهران للشيء نفسه. الطول والعرض ليسا أساسيين على الإطلاق. انها ببساطة صناعية الاتجاه الذي نختار أن نراقب العصا منه. والشيء الأساسي هو العصا نفسها، والتي تستطيع رؤيتها ببساطة بتجاهل الظلال على الجدار والمشى نحوها إلى مركز الغرفة. حسناً، فالزمان والمكان أكثر شبيهاً بالطول والعرض للعصا. انهما ليسا أساسيين على الإطلاق لكنهما صناعيان من وجهة نظرنا،



خصوصاً مقدار سرعة انتقالنا. لكن خلال الشيء الأساسي في الزمان-المكان، فإن هذا ظاهر فقط من وجهة نظر انتقال قريبة من سرعة الضوء، مما يؤكد لماذا ليست واضحة لأي منا في حياتنا اليومية.

بالتأكيد العصا والظل متشابهان، ككل الأشياء المتماثلة، ويصلان لنقطة واحدة. بينما الطول والعرض للعصا هما متكافئان تماماً. إن هذا ليس صحيحاً تماماً بالنسبة لأوجه المكان والزمان من الزمان-المكان. ومع أنه بإمكانك أن تتحرك في أي اتجاه تريده في الفضاء، إلا أنك وكما يعرف أي شخص تستطيع أن تتحرك في اتجاه واحد فقط في الوقت نفسه.

إن حقيقة الزمان-المكان هي صعبة، وللزمان والمكان مجرد ظلال تبرز نقطة عامة. أشبه بملاحى سفينة غارقة يتشبثون بصخرة في بحر جامح، فلصنع صدى للعالم نبحث يائسين عن أشياء لا تتغير. نحن نعرف أشياء مثل المسافة والزمان والكتلة. لكن مؤخراً نكتشف بأن الأشياء التي عرفناها لا تتغير فقط من وجهة نظرنا المحدودة. وعندما نوسع منظورنا للعالم نكتشف بأن أشياء أخرى لم نكن نشك فيها هي أشياء ثابتة. وهكذا هو الأمر مع الزمان والمكان. فعندما نرى العالم من نقطة افضلية للسرعة العالية، لا نرى المكان ولا الزمان ولكن نراه كعالم بلا اتصال مع الزمان والمكان.

فعلياً يجب المضي قدماً بأن الزمان والمكان لا سبيل لهما إلى الظفر. فكّر بالقمر، فماذا يشبه الآن في هذه اللحظة؟ الجواب هو لا نعرف ابداً. وكل الذي نعرفه هو ما كان يشبهه منذ  $1\frac{1}{4}$  ثانية مضت، انه الزمان الذي يحتاجه الضوء لينتقل من القمر عبر 400,000 كم إلى الأرض. والآن فكر بالشمس. لا نستطيع معرفة ماذا تشبه، فما نعرفه هو ما كانت تشبهه منذ  $8\frac{1}{4}$  دقيقة مضت. ولأقرب نجم، هو ألفا سنثوري، فنحن نعمل الصورة التي بها نرى الوقت قبل 4.3 سنة.

الفكرة هي انه وبالرغم من اننا نفكر في الكون الذي نراه من خلال التلسكوب بأنه موجود الآن، إلا أن هذه نظرة خاطئة. فنحن لا نعرف إطلاقاً ما يشبه الكون في هذه اللحظة. فعبر الفضاء الأبعد نرى الرجوع الأبعد في الزمن. فإذا نظرنا بعيداً بما يكفي عبر الفضاء قد نستطيع فعلياً ان نرى عن قرب طريقة تكوّن الكون، بالعودة بالزمن 13.7 نحو الوراء. والزمان والمكان مرتبطان معاً بشكل معقد. والكون الذي نراه "خارجاً هناك" هو ليس الشيء الذي يتمدد في الفضاء، لكنه الشيء الذي يتمدد في الزمان والمكان.

إن السبب الذي نخدع به في التفكير بالزمان والمكان بأنهما منفصلان هو ذلك الضوء الذي يأخذ وقتاً قليلاً جداً ليسافر مسافات بشرية والتي نادراً ما نلاحظ فيه التأخير. وعندما نتحدث مع أحد الأشخاص، فإنك تراه قبل أن يراك بمقدار جزء من مليار جزء من الثانية. لكن هذه الفترة غير قابلة للملاحظة والسبب هو أنها أقصر 10 ملايين ضعف من أي حدث يستطيع أن يدرك بالعقل البشري. وانه لا عجب ان نعتقد بأن كل شيء ندركه حولنا موجود الآن. لكن الآن هو مفهوم خيالي، والذي يصبح متوقعاً ان الكون أوسع، حيث المسافات كبيرة جداً ويحتاج الضوء لمليارات السنين لينتشر فيها.

ان الزمان - المكان للكون يمكن أن يكون فكرة لخرطة ضخمة. وكل الأحداث - ابتداءً من خلق الكون إلى ميلادك في وقت ومكان محددين على الأرض - موضوع ذلك عليها، مع زمان - مكان وحيد. ان صورة الخرطة هي ملائمة لأن الزمان - كجانب رد فعل من المكان - يمكن أن يكون كفكرة لبعد فضائي إضافي. لكن صورة الخرطة توجد مشكلة. فإذا وضع كل شيء خارجاً، مقدراً على الاغلب، فليس هناك غرفة لمفاهيم الماضي والحاضر والمستقبل. فاينشتاين لاحظ: "بالنسبة لنا كفيزيائيين، الفرق بين

الماضي والحاضر والمستقبل هو الصورة المضللة فقط".  
انه ظريف ان تخضع للصورة المضللة. ومع ذلك فالحقيقة تبقى  
بأن مفاهيم الماضي والحاضر والمستقبل لا تظهر على الإطلاق في  
النسبية الخاصة؛ إحدى اوصافنا الأساسية للحقيقة. والطبيعة تظهر انها  
تحتاج لها. فلماذا نحن نعمل في واحد من الالغاز المستعصية الكبرى.

$$E=mc^2 \text{ وكل ذلك}$$

النظرية النسبية الخاصة تعمل بعمق لتغيير افكارنا حول المكان  
والزمن. انها تغير افكارنا حول مجموعة من الأشياء الأخرى أيضاً.  
والسبب هو ان كل الكميات القاعدية للفيزياء موجودة في الزمان  
والمكان. إذا - وكما اخبرتنا النسبية - كان الزمان والمكان مطويعين  
وملطين الواحد بالآخر عندما يصلان سرعة الضوء، فكذلك الأمر  
بالنسبة للكينونات الأخرى؛ كالزخم والطاقة والمجالات الكهربائية  
والمجالات المغناطيسية. أشبه بالزمان والمكان المندمجين في وسط بلا  
اتصال من الزمان - المكان، فانهما أيضاً - لا سبيل لهما - مرتبطان  
معاً باهتمامات حفظ سرعة الضوء الثابتة.

خذ الكهربائية والمغناطيسية. انهما اوجدا فقط عندما يكون فضاء  
شخص هو زمان شخص آخر، ومجال مغناطيسي لشخص هو مجال  
كهربائي لشخص آخر. فالمجالات الكهربائية والمغناطيسية هي حاسمة  
لكلا المولدين اللذين يجعلان التيارات الكهربائية والمحركات تدور  
بتيارات كهربائية في الحركة. فقد كتب ليغ بيج عام 1940 ان: "حافضة  
المغناطيس الدوار لكل مولد وكل محرك في هذا الجيل من الكهربائية  
هي اعلان مثبت لحقيقة النظرية النسبية لكل من له آذان تسمع". وبسبب  
عيشنا في عالم حركة بطيئة، فنحن نُدع باعتقادنا ان المجالات  
الكهربائية والمغناطيسية لها وجود منفصل. ولكنها مثل الزمان والمكان؛

هي مجرد اوجه مختلفة لنفس العملة. وفي الواقع، يبدو المجال الكهرومغناطيسي عديم الوجود.

إن كميتين هما كميتان لهما اوجه فقط لنفس العملة هما الطاقة والزخم<sup>(5)</sup>. وفي هذه العلاقة غير المتشابهة ربما تختبئ المفاجأة الكبرى للنسبية؛ وهي بأن الكتلة شكل من أشكال الطاقة. وان الاكتشاف الأكثر شهرة، والاقول فخامة، هو معادلة لكل العلوم:  $E=mc^2$ .

---

(5) إن زخم الجسم هو قياس كمية الجهد اللازمة لإيقافه. كمثال، إن إيقاف صهريج زيت - ومع أنه يتحرك لكيلومترات قليلة بالساعة - أصعب بكثير من إيقاف سيارة فـرميلا 1 منطلقة بسرعة 200 كم/ساعة. نقول ان صهريج الزيت أكثر زخماً.

## 8

### $E=mc^2$ ووزن شروق الشمس

كيف اكتشفنا ان المادة الطبيعية تحتوي على مليون ضعف

قوة الديناميت التدميرية

الفوتونات لها كتلة؟! لم اعرف ابداً انها كاثوليكية.

وودي الين

إنها أكبر مجموعة خيالية من مقاييس الحمّام. نعم انها مقاومة للحرارة أيضاً. وانها بالحقيقة كبيرة جداً بحيث يمكنها أن تزن نجماً بكامله. واليوم هي بوزن النجم الأقرب لنا، انها شمسنا. والرقم المعروف يسجل  $10 \times 27$  طن. انه 2 متبوع بـ 27 صفراً؛ أي 2,000 مليون مليون مليون مليون طن. ولكن انتظر دقيقة، هناك شيء ما غير صحيح. فالمقاييس هي فائقة الدقة. وهناك شيء آخر قابل للملاحظة حولها، بالإضافة لحجمها ومقاومتها للحرارة! ففي كل ثانية، عندما ينشط العرض، نقرأ 4 ملايين طن أقل من الثانية السابقة. وماذا بعد؟ بالتأكيد الشمس ليست أخف - بوزن صهريج محسن بحجم جيد - لكل ثانية مفردة!

آه، انها كذلك! الشمس تفقد طاقة حرارية، تشعلها في الفضاء كضوء شمس. والطاقة بالفعل تزن شيئاً ما<sup>(1)</sup>. إذاً، أكثر اشعة الشمس

(1) انا استخدم كلمة الوزن هنا بالطريقة التي تستعمل بحياتنا اليومية كمرادف للكتلة. ونتكلم بصرامة، الوزن يكافئ قوة الجاذبية.

هي ما تخرجه الشمس، لتصبح اخف. تذكروا ان الشمس كبيرة وانها تفقد جزء من 10 ملايين جزء بالمائة من كتلتها بالثانية. وهذا أكثر من 0.1% من كتلتها منذ ولادتها.

في الحقيقة ان الطاقة تزن بالفعل بعض الشيء، ويمكن أن ترى بشكل واضح من سلوك المذنب. وذيل المذنب دائماً أشبه بحزمة من عاصفة متجمعة<sup>(2)</sup>. ان عاصفة الريح تُضرب بترليونات من جزيئات الهواء. انه قذف عنيد يسبب دفعاً باتجاه الخارج. فالقصة جميلة أكثر من تلك في الفضاء العميق. ان ذيل المذنب هو خليط من جسيمات صغيرة لا تحصى من الضوء. وهو عبارة عن مسدس يقذف الفوتونات المسببة لتوهج غازات المذنب لموجة عبر اطنان من الملايين من الكيلومترات من الفضاء الفارغ<sup>(3)</sup>.

لكن هناك فرق هام بين مجموعة الريح المضروبة بجزيئات الهواء وذيل المذنب المضروب بالفوتونات. ان جزيئات الهواء هي ذرات صلبة من المادة. تقضي مدة في مجموعة الرياح الشبيهة برصاصات صغيرة، ولهذا يرتد مجال الريح. لكن الفوتونات ليست مادة صلبة، وفعلياً ليس لديها كتلة. إذن كيف يكون للفوتونات تأثير مشابه لجزيئات الهواء، وكيف يعمل؟

حسناً، الفوتون له طاقة، والآن فكر بحرارة ضوء الشمس تسقط على جلدك عندما تتشمس في يوم صيفي. الاستنتاج الذي لا مفر منه

---

(2) المذنب هو كرة تلج عملاقة بين الكواكب. مليارات الأجسام تدور بعمق مجمد خلف الكواكب الأبعد. وبالصدفة، كان المذنب ذو الجاذبية يمر بنجم يسقط باتجاه الشمس. وكلما تسخن الكرة أكثر، فإن تشققات سطحها والابزيم يغليان في الفراغ ليشكلا ذنباً غازياً طويلاً ومتوهجاً.

(3) فعلياً، ذيل المذنب يدفع بدمج ضوء الشمس والريح الشمسية، وهو اعصار ساعة لمليون ميل من الجسيمات داخل الذرة. واغلبها نوى الذرات، والتي تتجول من الشمس.

هو ان الطاقة فعلياً لها وزن<sup>(4)</sup>.

يتحول هذا الأمر ليكون نتيجة مباشرة لعدم اللحاق بالضوء. وحيث ان سرعة الضوء هي بعيدة الوصول، فلا توجد مادة تستطيع التعجيل بسرعة الضوء، ولا يهم كم تستلزم من الصعوبة. ان سرعة الضوء تلعب دور السرعة اللانهائية لكوننا، كما لو أنها تأخذ كمية لا نهائية من الطاقة لتعجيل الجسم لسرعة لا نهائية. وبكلمات أخرى، إن سبب استحالة الحصول على سرعة الضوء هو انها تأخذ طاقة أكثر من تلك الموجودة في الكون.

فماذا يحدث، على كل حال، إذا كنت تدفع كتلة بسرعة قريبة جداً من سرعة الضوء؟ حسناً، بما أن السرعة النهائية غير قابلة للدراك، فإن الجسم سيصبح اصعب واصعب ليدفع عندما يكون قريباً جداً من السرعة النهائية.

إن كونه صعب الدفع هو نفسه كما لو أن لديه كتلة كبيرة. وبالحقيقة ان كتلة الجسم تعرف بدقة هذه الصفة؛ كم من الصعوبة اللازمة لتدفع تلك الكتلة. ان ثلاجة محملة تترجح بصعوبة، نظراً لامتلاكها كتلة كبيرة، بينما من السهل أن تترجح إذا كانت كتلتها صغيرة. ولذلك، إذا كان الجسم صعب الدفع ليقترّب من سرعة الضوء، يجب أن يكون أكثر ضخامة. وبالحقيقة، إذا لحق جسم المادة بسرعة الضوء، فستكون كتلته لا نهائية، وهي طريقة أخرى للقول ان تسارعه سيتطلب كمية لا نهائية من الطاقة. ومهما يكن الوضع العام، فإن ذلك مستحيل.

ان القانون الأساسي للطبيعة هو أن الطاقة يمكن أن توجد أو تدمر، وتنتقل من ستار لآخر. مثلاً، تغيير الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية في المصباح الكهربائي، وتغيير طاقة الصوت إلى طاقة حركية

---

(4) بذات المعنى، الفوتونات تملك العزم. وبمعنى آخر، انها تستلزم جهداً لايقافها. هذا الجهد يوفر بواسطة نذب المذبذب والذي يرتد كنتيجة له.

بالتذبذب في الهاتف الصير. ماذا يحدث عندها لطاقة الجسم المتحرك بسرعة تقارب سرعة الضوء؟ وبصعوبة، إن أي طاقة من الممكن أن تزيد سرعة الجسم لأن الجسم المتحرك بسرعة تقارب سرعة الضوء يكون في الأصل متتقلاً بحدود السرعة القصوى.

والشيء الوحيد الذي يزيد دفع الجسم هو كتلته. فاين تذهب كل الطاقة؟ لنقل ان الطاقة تستطيع فقط ان تتغير من شكل لآخر. والاستنتاج الذي لا مفر منه - اكتشف من قبل اينشتاين - قال ان الكتلة نفسها شكل من أشكال الطاقة. والمعادلة التي تترك الطاقة في مادة كتلتها  $m$ ، تعطى بالمعادلة الأكثر شهرة في كل العلوم:  $E=mc^2$ ، حيث يرمز  $c$  إلى سرعة الضوء.

والرابطة بين الطاقة والكتلة هي الأكثر ملاحظة من كل النتائج لنظرية اينشتاين الخاصة. وتشبه الرابطة بين الزمان والمكان، انها تمثل بطريقتين. الكتلة ليست أحد أشكال الطاقة بل ان أشكال الطاقة تملك كتلة فعالة لكن من الخشونة القول ان الطاقة تزن شيئاً ما.

ان طاقة الصوت وطاقة الضوء والطاقة الكهربائية - أي شكل من الطاقة التي تفكر بها - كل تلك الطاقات تزن شيئاً ما. فعندما تسخن ابريق القهوة فانت تضيف طاقة حرارية إليه. ولكن طاقة الحرارة تزن شيئاً ما. وبالنتيجة، يزن فنجان القهوة شيئاً ما حين يكون ساخناً أكثر منه حين يكون بارداً. ان الكلمة الفعالة هنا هي بعض الشيء. والفرق في الوزن هو صغير جداً لكي يقاس. وبالحقيقة، إن ملاحظة ان الطاقة لها وزن أمرٌ صعب، ولذا احتاج الأمر إلى عبقرية اينشتاين ليلاحظها أولاً. ومع ذلك، أحد أشكال الطاقة؛ كطاقة ضوء الشمس تظهر كتلتها عندما تتفاعل مع المذنب.

فالضوء يستطيع دفع ذنب المذنب، والسبب ان طاقة الضوء تزن شيئاً ما. والفوتونات لديها كتلة فعالة حسب طاقاتها.



وهناك شكل مألوف آخر للطاقة؛ هو طاقة الحركة. فإذا خطوت مسرعاً في مسار دائري، فسوف تترك وبلا أدنى شك مثل شيء موجود. تشبه طاقة الحركة كل الاشكال الأخرى للطاقة والتي تزن شيئاً ما. لذا فأنت تزن هامشياً بشكل أكثر عندما تجري، منه عندما تمشي.

ان طاقة الحركة تشرح لماذا تستطيع فوتونات شعاع الشمس دفع ذنب مذنب. وشرح ذلك ضروري لأنها (الفوتونات) لا تملك فعلياً كتلة حقيقية. وإذا امتلكتها بعد كل ذلك، فستكون غير قادرة على الانتقال فعلياً بسرعة الضوء، تلك السرعة الممنوعة عن كل الأجسام التي لديها كتلة. والكتلة الفعالة بديلة عن الضوء، تلك الكتلة التي لديها طاقة الحركة.

ان وجود طاقة الحركة هو لشرح لماذا يكون فنجان القهوة أثقل عندما يكون ساخناً منه عندما يكون بارداً، بينما الذرات في الغاز تطير هنا وهناك. ولما كانت الذرات في فنجان قهوة ساخن تتحرك أسرع من الذرات في فنجان بارد، فإنها تمتلك طاقة حركية أكبر، وبالنتيجة فالقهوة تزن أكثر.

### الأرانب خارج القبعات

يبدو كثيراً جداً بالنسبة للطاقة أن تملك كتلة مكافئة، أو تزن شيئاً ما. ان حقيقة أن الكتلة شكل من أشكال الطاقة لها مضامين عميقة. وبينما يمكن لشكل الطاقة ان يتحول إلى شكل آخر، فإن طاقة - كتلة يمكن انتقالها في اشكال أخرى للطاقة وبالعكس، واشكال أخرى للطاقة يمكن أن تغير في الطاقة - الكتلة.

فاذا كانت الطاقة - الكتلة تصنع من غير أشكال الطاقة، فنقول ان الكتلة يمكن أن تفرقع عندما لا يكون للكتلة وجود. هذا بالضبط ما يحدث لمعجلات الجسيمات العملاقة أو محطات الذرة في مدينة سيرن

السويسرية، حيث المركز الأوروبي لفيزياء الجسيمات قرب جنيف. ان الجسيمات داخل الذرة تتعطف حول حلبة تحت الأرض وتتدفع معاً في سرعات قريبة من سرعة الضوء. وفي الانهيار العنيف، فإن الطاقة الضخمة لحركة الجسيمات تتحول إلى طاقة - كتلة، وتمنى الفيزيائيون دراسة كتلة الجسيمات الجديدة. فعند نقطة التصادم، تبدو هذه الجسيمات ظاهرياً لا شيء؛ مثل الأرانب خارج قبة.

هذه الظاهرة هي مثال لنوع واحد من الطاقة المتغيرة في الطاقة - الكتلة. لكن ماذا عن تغير الطاقة - الكتلة إلى شكل آخر من أشكال الطاقة؟ هل يحدث هذا؟ نعم، يحدث في كل زمان.

### مليون ضعف القوة التدميرية للديناميت

فكر بقطعة فحم محترق. لأن الحرارة المحررة تزن شيئاً ما، ويفقد الفحم تدريجياً كتلة. لذا فإذا كان من الممكن جمعه ووزن منتجات الحرق - الرماد والغاز الملفوظ وهكذا - فإنها ستزن أقل من قطعة الفحم الأصلية.

ان كمية الطاقة - الكتلة تتحول إلى طاقة حرارية عندما يحرق الفحم ليبقى بحجم أصغر ما يمكن، وغير قابل للقياس اساساً. ومع ذلك، هناك أماكن طبيعية مغطاة بأشكال أخرى من الطاقة. وتعرف عليها الفيزيائي الانكليزي فرانسز استون عام 1919 بينما كان يزن الذرات.

لنتذكر أن كل الذرات الطبيعية وعددها 92 تحتوي على نواة مصنوعة من جسيمين مميزين داخل الذرة، البروتون والنيوترون<sup>(5)</sup>. وهكذا فإن كتلتي النواتين متشابهتان، والنواة يمكن أن تكون الاثقل

---

(5) ما عدا ذلك، ان أغلب نوى نظائر الهيدروجين، مؤلفة ببساطة من بروتون واحد ونيوترون واحد.

بوزنها. وانها تشبه حجر لعبة الليغو. وذرة الهيدروجين، النواة الاخف، صنعت من حجر واحد من لعبة الليغو، واليورانيوم الاثقل صنع من 238 حجراً من الليغو.

فهناك شك منذ بدء القرن التاسع عشر بأن الكون بدأ فقط بنوع واحد من الذرة الابطس؛ أي الهيدروجين. ومنذ ذلك الوقت، فإن كل الذرات الأخرى كيفما تكون بنيت من الهيدروجين بعملية جمع أحجار الليغو معاً. والدليل على هذه الفكرة التي افترضها الفيزيائي اللندني وليام بروث في 1815، هو أن ذرة كاليثيوم تزن 6 أضعاف أكبر من الهيدروجين وأن ذرة كالكربون تزن بالضبط 12 ضعفاً أكبر من ذرة الهيدروجين وهكذا.

على كل حال، عندما قارن استون مختلف انواع كتل الذرات باستخدام أجهزة ابتكرها وسماها رسم طيف الكتلة، اكتشف عندئذ أشياء مختلفة. فالليثيوم بالحقيقة يزن أقل من 6 ذرات هيدروجين، والكربون يزن أقل من 12 ضعف ذرة هيدروجين. والتناقض الأكبر كان أن ذرة الهيليوم، ثاني أخف ذرة. حيث إن نواة الهيليوم جمعت من أربعة أحجار ليغو، وبترتيبها تزن أربع مرات أكبر من ذرة الهيدروجين. وبدلاً من ذلك، لقد وزنت 0.8% أقل من أربع ذرات هيدروجين. وكانت أشبه بوضع أربع حقائب تحتوي الواحدة منها على كيلوغرام واحد من السكر معاً، ووجدها تساوي تقريباً 1% أقل من أربعة كيلوغرامات!

واذا جمعت كل الذرات بالحقيقة من احجار الليغو لذرة الهيدروجين كما توقع بروث، فإن اكتشاف استون اظهر شيئاً قابلاً للملاحظة حول بناء الذرة. وخلال ذلك فالكمية الهامة من الطاقة - الكتلة ذهبت أولاً. ان الطاقة - الكتلة تشبه كل أشكال الطاقة غير المدمرة. ويمكن أن تتغير من شكل لآخر. فالشكل المنخفض النهائي للطاقة هو الطاقة الحرارية. والنتيجة، أنه إذا تحول كيلوغرام واحد من الهيدروجين إلى

كيلوغرام واحد من الهيليوم، فإن ثمانية كيلوغرامات من الكتلة - الطاقة تكون قد تحولت إلى طاقة حرارية. والمدهش، أن الطاقة أكبر بمليون مرة من الطاقة المتحررة من حرق كيلوغرام واحد من الفحم.

إن معامل المليون لم يلاحظ من قبل الفلكيين. فعبر الألفيات السابقة، اندهش الناس كيف حفظت الشمس وهي تحترق. ففي القرن الخامس قبل الميلاد، تأمل الفيلسوف الإغريقي أناكساغورس (غفر الله له) وفكر بأن الشمس كانت "كرة حارة حمراء من الحديد ليست أكبر من السيونان". ومؤخراً في القرن التاسع عشر؛ أي في عصر الفحم، تساءل الفيزيائيون فيما إذا كانت الشمس كتلة عملاقة من الفحم، وأما لكل كتل الفحم! على كل حال، لقد وجدوا أنها إن كانت كتلة من الفحم، فيمكن أن تحترق في حوالي 500 سنة. والمشكلة في أن الدليل من علوم الأرض والحياة هو أن تلك الأرض - ومن ضمنها الشمس - هي أقدم بحوالي مليون مرة على الأقل. والاستنتاج الذي لا مفر منه هو أن الشمس تحتوي على مصدر للطاقة أكثر من الفحم بمليون مرة.

إن الرجل الذي جمع اثنين مع اثنين كان الفلكي الإنكليزي ارثر ايدنغتون. ولقد ظن أن الشمس كانت مسحوقاً من الطاقة النووية والذرية. وهي في داخلها تضرب معاً الذرات ذات المواد الحقيقية، كالهيدروجين، لتكوّن ثاني أخف الذرات وهي الهيليوم. وفي عملية الطاقة - الكتلة كانت قد حولت إلى طاقة حرارية وضوئية. وللحفاظ على النواتج المذهلة، فاربعة ملايين طن من الكتلة - أي ما يعادل مليون فيل - تدمر كل ثانية. هذا كان المصدر النهائي لضوء الشمس.

وهذه هي المناقشة الملائمة حول المادة التي تجعل الضوء الخارج من ذرة ثقيلة يحول إلى طاقة - كتلة في أشكال أخرى من الطاقة. والتفصيل في هذا ربما ينفع.

تصور أنك وأثناء سيرك إلى البيت يسقط حجر من السقف، ويضرب رأسك. فالطاقة حررت في هذه العملية. على سبيل المثال، تحرر الطاقة الضوئية من ضربة شديدة لحجر يضرب رأسك. وربما يصدمك بعنف، عندئذٍ تتحرر طاقة حرارية. فإذا استطعت قياس الحرارة للحجر ورأسك بدقة عالية، فستجدهما أدفاً قليلاً من ذي قبل. فمن أين أتت هذه الطاقة؟ الجواب هو من الجاذبية. والجاذبية هي قوة الجذب بين جسمين كبيرين. ففي هذه الحالة تسحب الجاذبية الحجر إلى الأرض.

والآن، ماذا يحدث إذا كانت الجاذبية أكبر بمرتين مما هي عليه؟ الحجر سيسحب الحجر بشكل أسرع باتجاه الأرض. وستحدث ضوضاء أكبر عندما يصطدم بها، وسيكون حرارة أكبر وهكذا؛ وباختصار ستحرر طاقة أكبر. وماذا إذا كانت الجاذبية أكبر بعشر مرات؟ عندئذٍ ستطلق العنان لطاقة أكبر. والآن ماذا إذا كانت الجاذبية عشرة آلاف تريليون تريليون تريليون أقوى؟ بكل وضوح، سيتحرر مقدار كبير من الطاقة بتحطم الحجر (وباندماج الحجر والأرض سيكون أشبه بذرة الهيليوم). لكن أليس هذا خيالاً؟ بالتأكيد لا توجد هناك قوة تقدر بعشرة تريليون تريليون تريليون مرة أقوى من الجاذبية؟ حسناً، يوجد هناك مثل هذه القوة، وهي تعمل في كل واحد منا في هذه اللحظة الهامة! انها تسمى القوة النووية، وانها الغراء الذي يجمع نوى الذرات معاً.

تخيل ماذا يحدث إذا اخذت نواتي نرتين خفيفتين وجعلتهما تسقطان تحت قوة نووية أكثر من سقوط الأرض والحجر معاً تحت قوة الجاذبية. سيكون التصادم هائلاً، وعنيفاً، لأن مقداراً ضخماً من الطاقة سيحرر؛ أكثر بمليون مرة من تلك التي تحررت بحرق نفس الوزن من الفحم.

إن مبنى الذرة هو ليس فقط مصدراً لطاقة الشمس؛ بل هو كذلك مصدراً لطاقة القنبلة الهيدروجينية. لذا فإن كل القنابل الهيدروجينية تدفع

معاً نوى الهيدروجين (كابناء عمومة لذرة الهيدروجين، وتلك قصة أخرى) لصنع نوى الهيليوم. ان نوى الهيليوم أخف من الوزن المدمج لاحجار مبنى الهيدروجين، والكتلة المفقودة ستعود مرة أخرى بالظهور كطاقة حرارية هائلة لكرة نار نووية. فالقدرة التدميرية لواحد ميغا طن من القنبلة الهيدروجينية - أكبر بحوالى 50 مرة من تلك التي دمرت مدينة هيروشيما - تأتي من دمار أكثر بقليل من كيلوغرام واحد من الكتلة. قال اينشتاين: "إذا عرفت فقط، فيجب أن أصبح ساعاتياً". عاكساً دوره في تطوير القنبلة النووية.

### تحويل كامل للكتلة إلى طاقة

بالرغم من ان اينشتاين قلل من قيمة الكتلة، وبيّن انها مجرد شكل بين اشكال لا تحصى من الطاقة، فهي مميزة بطريقة واحدة: انها أكثر أشكال الطاقة المعروفة تركيزاً. وبالحقيقة، إن معادلة  $E=mc^2$  تغلف هذه الحقيقة. رمز الفيزيائيون لسرعة الضوء بالرمز  $c$  وهو عدد كبير يعادل 300 مليون م/ثانية. وبتريعه أو بمضاعفته بنفسه، سيكون عدداً أكبر جداً، وبتطبيق المعادلة لكيلوغرام واحد من المادة يتبين انها تحتوي على  $9 \times 10^{16}$  جول من الطاقة، وهي كافية لرفع سكان العالم بأكملهم إلى الفضاء.

وللحصول على هذا النوع من الطاقة الناشئة عن كيلوغرام واحد من المادة، فإنه من الضروري تحويلها كاملة إلى شكل آخر من الطاقة؛ تلك التي تدمر كل ما في كتلتها. والعمليات النووية في الشمس والقنبلة النووية تحرر 1% من طاقة المادة. على كل حال، فإنها تجعل الطبيعة تعمل أفضل بكثير من هذا.

ان الثقوب السوداء هي مناطق من الفضاء تكون الجاذبية فيها قوية جداً حيث ان خفة وزنها لا تمكنها من الهروب، وهذا بسبب

اسودادها. انها البقية المتروكة عندما يموت النجم الضخم، متقلصاً بشكل كارثي في حجم يتغاضى عن الوجود. وبينما تدور المادة نحو الأسفل في ثقب اسود - أشبه بالماء أسفل ثقب السدادة - يتحرك حول نفسه، مسخناً نفسه إلى غاية التوهج الحراري. والطاقة تتحرر بالضوء والحرارة. وفي حالة خاصة عندما يبرم الثقب الأسود بأقصى معدل ممكن، فإن الطاقة المتحررة تكافئ 43% من كتلة المادة التي تدار للداخل. هذا يعني ان - رطلاً فوق رطل - سقوط المادة على ثقب اسود هو أكثر فعالية بـ 4.3 مرة من طاقة متولدة عن العمليات النووية لتقوية الشمس أو القنبلة الهيدروجينية.

وهذه ليست نظرية فقط. فالكون يحوي أهدافاً تسمى نجماً زائفاً أو شبه نجم، أو مراكز شديدة اللمعان لمجرات حديثة الولادة. وحتى ان مجرتنا درب اللبانة ربما حوت نجماً زائفاً في مركزها خلال شبابها المشاكس خلال العشرة مليارات سنة التي مضت. والشيء المربك حول النجوم الزائفة هو انها تضخ طاقة الضوء لمئة مجرة عادية - أي ان هناك عشر ملايين ملايين شمس - وفي منطقة أصغر من مجموعتنا الشمسية. كل تلك الطاقة لا يمكن الاتيان بها من النجوم، فإنه يستحيل ان تكسب 10 ملايين ملايين شمس في حجم صغير من الفضاء. إن بإمكانها أن تأتي فقط من ثقب اسود عملاق رضيع. فالفلكيون يعتقدون بشدة بأن النجوم الزائفة تحوي " كتلة هائلة" من الثقوب السوداء - تصل إلى عشرة مليارات مرة من كتلة الشمس - والتي تلتهم بثبات النجوم الكاملة. لكن حتى الثقوب السوداء تستطيع تحويل نصف الكتلة من المادة إلى اشكال أخرى من الطاقة.

هل هناك عملية تحول كل الكتلة إلى طاقة؟ الجواب هو نعم. فالمادة فعلياً تأتي في نوعين، المادة والمادة المضادة. وليس من الضروري معرفة أي شيء حول حقيقة المادة المضادة. وعندما تلتقي

المادة والمادة المضادة، فالاثنتان تدمران، أو تُفني إحداهما الأخرى، بنسبة 100% من ومضة الكتلة - الطاقة في أشكال أخرى من الطاقة.

والآن يظهر كوننا - لسبب لا أحد يعرفه - وكأنه صنع بالكامل من المادة. وهذا أرباك عميق، لأنه عندما تصنع مقادير ضئيلة من المادة المضادة في المختبر، فإن ولادتها تترافق دائماً بمقدارٍ متساوٍ من المادة. ولأنه لا وجود للمادة المضادة في الكون، فإذا أردنا شيئاً يجب علينا أن نصنعه، وهذا صعب. فليس عليك فقط أن تبذل الكثير من الطاقة لتصنعها بل إنها تميل لتفنى حال لقائها بمادة اعتيادية، لذا فمن الصعب تراكم الكثير منها. والعلماء بكل مكان تمكنوا من جمع أقل من جزء من مليار جزء في غرام واحد.

ومع ذلك، إذا كانت مشكلة صنع المادة المضادة من الممكن أن تكون مفارقة، فسيكون لنا تصور لمصدر قدرة الطاقة الكلية. والمشكلة في كل سفن الفضاء هي أن رواد الفضاء يجب أن يأخذوا كل وقودهم معهم. لكن الوقود يزن الكثير. والوقود يحتاج إلى الكثير لرفعه إلى الفضاء. مثلاً الصاروخ ساتورن 5 يزن ثلاثة آلاف طن، وكل ذلك الوزن - بما فيه الوقود - يحتاج لأخذ رجلين إلى سطح القمر والعودة بهما بأمان إلى الأرض. فالمادة المضادة توفر طريقاً آخر. فسفينة الفضاء تتطلب أي مادة مضادة للتزود بالوقود لأن المادة المضادة تحوي مقداراً هائلاً من الطاقة؛ رطل فوق رطل. وإذا كنا دائمي السفر إلى النجوم، فسوف نضغط آخر قطرة من الطاقة الخارجة عن المادة. وفي رحلة النجوم، سوف نبني سفن فضاء مزودة بقدرة من المادة المضادة.



## قوة الجاذبية غير موجودة

كيف اكتشفنا ان حقيقة الجاذبية أتت وجهاً لوجه  
مع الثقوب السوداء، والثقوب الدودية وساعات الزمن

اتى الاختراق فجأة في يوم من الايام. كنت جاساً على كرسي في مكتب  
براءات الاختراع بيرن. وفجأة صدقتني الفكرة: إذا سقط رجل سقوطاً  
حرّاً، فلن يشعر بوزنه. أرجعني ذلك للخلف. هذه التجربة الفكرية  
البسيطة أوجدت لدي انطباعاً عميقاً، وقادتني إلى نظرية الجاذبية.  
ألبرت اينشتاين

إنهما أختان توأمان، تبلغان من العمر 20 سنة. تعملان بنفس  
ناطحة السحاب في مانهاتن. واحدة تعمل مساعدة في محل تجاري  
بمستوى الشارع، والأخرى تعمل نادلة في مطعم بالطابق 52. انها  
الساعة 8:30 صباحاً. دخلتا من خلال الأبواب المدورة إلى النادي،  
وذهبتا بطريقتين منفصلتين. ذهبت إحداهما مباشرة فوق الأرضية  
الرخامية في الطابق الأرضي حيث محل التسوق، وركضت الثانية  
بشكل مفاجئ لغاية باب المصعد العالي قبل انغلاق الأبواب.  
تدور عقارب الساعة الموجودة قرب المصعد، وتلف حول نفسها.  
والآن الساعة 5:30 عصراً. وعند الطابق الأرضي، تحقق مساعدة

المحل في ضوء المؤشر الأحمر، وتعد الطوابق النازلة. ومع صوت الجرس، تفتح الأبواب إلى الخارج وتأتي اختها النادلة بعمر 85 سنة وشكلها منحني، وهي تشبه صورة الزمام المنزلق الفضي.

فاذا فكرت بأن هذا السيناريو يبدو بالحقيقة مهزلة، فكر مجدداً انه مبالغ فيه ومبتذل، ولكنه حقيقة مبالغ فيها. وأنت بالواقع تعمل ببطء أكثر على الطابق الأرضي للمبنى منه في الطابق العلوي. انها تأثير اينشتاين للنظرية النسبية العامة، والهيكل الذي أتى به عام 1915 ليثبت ملخصاً لنظريته الخاصة.

المشكلة مع النظرية النسبية الخاصة هي انها خاصة. إنها تتعلق بما يراه الشخص عندما يتطلع إلى شخص آخر يتحرك بسرعة ثابتة نسبة له، ويظهر ان الشخص المتحرك يبدو بأنه يتقلص في اتجاه حركته بينما يتباطأ الزمن، هذه التأثيرات تصبح أكثر ملاحظة عند وصوله إلى سرعة الضوء. لكن الحركة بسرعة ثابتة هي نوع خاص جداً. والأجسام بشكل عام تغير سرعتها مع الزمن. مثلاً، تريد سيارة سرعتها بعد الإشارة الضوئية، أو يبطئ مكوك الفضاء لناسا سرعته عندما يعيد الدخول للغلاف الجوي الأرضي.

والسؤال الذي أوجد له اينشتاين الجواب بعد نشره نظريته الخاصة عام 1905 هو: ماذا يرى الشخص عندما يتطلع إلى شخص آخر يسرع بالنسبة له؟ الجواب - ذلك الذي احتاج إلى أكثر من عقد من الزمن ليحصل عليه - هو انها النظرية النسبية العامة، والمساهمة الكبرى للعلم بعقل بشري واحد.

فعندما باشر اينشتاين في بحثه، ألقته مسألة واحدة: ماذا نفعل بقانون نيوتن للجاذبية. بالرغم من بقائها غير متحدية لما يقرب 250 سنة، فقد كان واضحاً لاينشتاين انها غير متوافقة مع النظرية النسبية الخاصة. وطبقاً لنيوتن، كل جسم ضخم يشد بقوة نحو جسم ضخم آخر

بقوة جذب تسمى الجاذبية. مثلاً، هناك سحب جذبي بين الأرض وكل شيء حولها، انها تحنط أقدامنا مثبتة بقوة إلى الأرض. وهناك قوة جاذبية بين الأرض والشمس، والتي تحفظ الأرض في مدار حول الشمس. لم يهدف اينشتاين إلى هذه الفكرة، لأن ما واجهه من صعوبة كان مع سرعة الجاذبية. وافترض نيوتن بأن قوة الجاذبية تعمل آنياً، وان جاذبية الشمس تصل عبر الفضاء إلى الأرض، وأن الأرض تشعر بقوة شد الجاذبية بدون أي تأخير. وبالنتيجة، إذا محيت الشمس في تلك اللحظة - على سبيل افتراض ليس إلا - فالأرض ستشعر بغياب جاذبية الشمس في وقتها، وتطير في الفضاء بين النجوم.

هذا التأثير الذي يمكنه أن يقطع الهوة بين الشمس والأرض بغياب الزمن، يجب أن ينتقل بسرعة محددة ومتكافئة تماماً. على كل حال، اكتشف اينشتاين انه لا شيء ضروري - بما فيه الجاذبية - يستطيع السفر أسرع من الضوء. وحيث ان الضوء يستغرق أكثر من ثماني دقائق للسفر بين الأرض والشمس، فتبعاً لذلك، إذا أزيلت الشمس فجأة فالأرض تستمر في مدارها على الأقل لثماني دقائق قبل ان تلف خارجاً نحو النجوم.

إن الفرضية الضمنية لنيوتن بأن الجاذبية تصل عبر الفضاء في سرعة لا نهائية ليست هي فقط الاختلال الحقيقي (الصدع) في نظريته للجاذبية. بل أيضاً لقد افترض ان قوة الجاذبية متولدة مع الكتلة. اكتشف اينشتاين بأن كل أشكال الطاقة لها تأثير الكتلة، أو تزن شيئاً. وبالنتيجة كل أشكال الطاقة - ليس فقط كتلة - طاقة - يجب أن تكون مصادر الجاذبية.

ان التحدي الذي واجه اينشتاين كان في دمج أفكار النظرية النسبية الخاصة في نظرية جديدة للجاذبية - في الوقت نفسه - لابتكار نظرية خاصة للنسبية لوصف ما يبدو عليه العالم بالنسبة لشخص متعجل. لقد

كان كما تأمل هذه التحديات العملاقة، مثل المصباح الذي يضيء في رأس اينشتاين. فأدرك في - ما فاجأه وأبهجه - بأن الفرضيتين كانتا فرضية واحدة وهما متشابهتان.

### الشيء الشاذ حول الجاذبية

من الضروري لفهم الرابطة ان نقيم الصفة الغريبة للجاذبية. فكل الأجسام بغض النظر عن كتلتها، تسقط بنفس الحالة. فحبة الفول تزيد سرعتها فقط أسرع من الشخص. هذا السلوك لاحظته أولاً في القرن السابع عشر العالم الايطالي غاليليو. أثبت غاليليو ذلك حين أخذ جسماً خفيفاً، وآخر ثقيلًا، ورمى بهما من قمة برج بيزا المعروف، وأعلن رسمياً ان كلاهما ضرب الأرض بنفس الزمن.

وعلى الأرض يكون التأثير واضحاً لأن الأجسام المسطحة تتباطأ أثناء مرورها خلال الهواء. ومع ذلك، أنجزت تجربة غاليليو في مكان حيث لا مقاومة للهواء لتعبث بالأشياء. ففي عام 1972، انزل أمر /بولو 15 ديف سكوت مطرقة وريشة معاً. فارتطما بتربة القمر بالضبط بنفس الوقت.

ما هو الغريب حول هذه الظاهرة هو أنه وكما هو معروف عادة، الطريق الذي يتحرك به الجسم هو رد فعل للقوة المعتمدة على كتلته. تخيل كرسيًا خشبيًا محملاً بثلاجة واقفة على مزلجة ثلج، حيث لا يوجد احتكاك ليربك الأشياء. وتخيل بأن أحداً ما يدفع الثلاجة والكرسي بنفس الوقت. فالكرسي الذي يبدو أقل كتلة من الثلاجة سوف يتحرك بسهولة أكثر، وسيزيد سرعته.

ماذا يحدث، إذا عمل الكرسي والثلاجة بنفس قوة الجاذبية؟ ولنقل ان البعض يرميهما من سقف مبنى مؤلف من عشرة طوابق؟ ففي هذه

الحالة - وكما سيتوقع غاليليو نفسه - لا يكون الكرسي أسرع من  
الثلاجة. فبالرغم من الاختلاف الواضح لكتلتيهما، فالكرسي والثلاجة  
سيسرعان باتجاه الأرض وبالضبط بنفس المعدل.

الآن، ربما تعجب بالجاذبية المركزية. فتجارب الكتل الكبيرة هي  
قوة أكبر للجاذبية من الكتل الصغيرة، وتلك القوة تتناسب طردياً مع  
كتلتها، لذا فالكتلة الكبيرة تسرع بالضبط بنفس معدل الكتلة الصغيرة.  
لكن كم تنتظر الجاذبية لتعمل على الكتلة؟ لقد كان العبقري أينشتاين  
يدرك انها تعمل بطريقة طبيعية وبسيطة؛ بطريقة لها مضامين معمقة  
لنظرتنا للجاذبية.

### تكافؤ الجاذبية والتسارع

لنقل ان فلكياً موجود داخل غرفة تتسارع  $9.8$  م/ثانية؛ والتي هي  
جاذبية تسارع تؤدي إلى سقوط أجسام قرب سطح الأرض. فكر في  
غرفة القيادة لسفينة فضاء حيث محركات الصاروخ بدأت بإطلاق النار.  
الآن قل ان الفلكي أخذ مطرقة وريشة وأمسكهما بعيداً بنفس الارتفاع  
فوق أرضية غرفة القيادة، ثم تركهما تنزلان بنفس الوقت. ماذا يحدث  
للمطرقة والريشة اللتين ستلاقيان الأرض بالتأكيد؟ كيف تفسر هذه  
الحادثة رغم اعتمادها على وجهة النظر المميزة؟

افترض ان سفينة الفضاء تعتمد على الجاذبية لأي كتلة كبيرة مثل  
الكواكب، والمطرقة والريشة بدون وزن. لذا إذا نظرنا إلى سفينة  
الفضاء من الخارج بمنظار الأشعة السينية، نرى الهدفين معلقين بلا  
حركة. ولما كانت سفينة الفضاء تتسارع باتجاه الأعلى، نرى أرضية  
غرفة القيادة تصعد لتلاقي المطرقة والريشة. فمتى اصطدمتا بالأرض  
فانهما تنزلان في نفس الوقت.

لنقل ان الفلكي مصاب بفقدان الذاكرة ونسي بالكامل انه في سفينة فضاء. ونوافذ السفينة معتمة لذا فلا شيء يخبره أين هو؟ كيف تفسر ماذا يرى؟

حسناً، يدرك الفلكي أن المطرقة والريشة سقطتا تحت تأثير الجاذبية. وبعد كل ذلك، المطرقة والريشة بتأثير الجاذبية ستسقطان بنفس السرعة وتضربان الأرض بنفس الزمن (تجاهل مقاومة الهواء بالتأكيد). والفلكي مقتنع بأن الجاذبية مسؤولة عما رآه وبحقيقة ان قدميه تظهران ملتصقتين بالأرض بنفس الشكل الذي كانتا ستكونان عليه لو كان في غرفة على سطح الأرض. وبالحقيقة كل شيء جربه الفلكي يجعله غير قابل لتمييز ما يمكن أن يجربه لو كان على سطح الأرض.

وبالطبع كان اينشتاين مقتنعاً بأنه تعثر في معرفة عمق الحقيقة حول الطبيعة. الجاذبية هي بالحقيقة غير قابلة للتمييز عن التسارع، وسبب هذا لا يمكن أن يكون ابسط. الجاذبية هي التسارع! هذا الإدراك والذي سماه اينشتاين مؤخراً "الفكرة الاسعد في حياتي" اقنعه بأن البحث عن نظرية الجاذبية والنظرية التي وصفت الحركة المتسارعة كان واحداً ونفس الشيء.

رفع اينشتاين قابلية التمييز بين الجاذبية والتسارع لمبدأ عظيم في الفيزياء، حيث عمّد مبدأ التكافؤ. ان هذا المبدأ يدرك ان الجاذبية هي ليست كبقية القوى، وهي ليست قوة حقيقية. ونحن نشبه الفلكي فاقد الذاكرة في سفينة الفضاء المعتمة. ولا ندرك بأن محيطنا يتسارع ولذا فعليه ايجاد طريقة أخرى لشرح حقيقة الأنهر الجارية إلى أسفل التلة، والشفاح الذي يسقط من الأشجار. والطريقة الوحيدة هي ابتكار قوة خيالية، كالجاذبية.

## قوة الجاذبية غير موجودة!

إن فكرة أن الجاذبية هي قوة خيالية كالصوت الذي يرسل أبعد قليلاً. ففي أوضاعنا اليومية، نحن سعداء لنبتكر قوى تجعل ما نحس به له معنى فعلاً. ولنقل أنك تسافر في سيارة تتسابق حول زاوية حادة في طريق. أنت تبدو مندفعاً للخارج، ولشرح السبب، نبتكر قوة طرد مركزية. وبالحقيقة لا وجود لمثل هذه القوة.

كل الأجسام الضخمة، ممكن أن تكون في حركة تميل للحفاظ على السفر في سرعة ثابتة في خط مباشر<sup>(1)</sup>. وبسبب هذه الصفة التي تعرف بالقصور الذاتي، فإن الأجسام غير المقيدة في السيارة - ومن ضمنها مسافر مثلك - تواصل السفر في نفس اتجاه السيارة المتحركة قبل وصولها إلى المنحنى. إن المسار المتتابع من باب السيارة هو منحني. ولا يجب أن تتفاجأ عندها حين تجد نفسك معلقاً أمام باب السيارة الذي يلاقيك أيضاً بنفس الطريقة التي تلاقي بها أرضية سفينة الفضاء المعجلة المطرقة والريشة<sup>(2)</sup>. فلا توجد هناك قوة.

تسمى قوة الطرد المركزية قوة القصور الذاتي. ولقد ابتكرناها لشرح حركتنا لأننا نتجاهل الحقيقة، بأن محيطنا يتحرك بالنسبة لنا. لكن، حقاً حركتنا هي نتيجة قصورنا الذاتي، وميولنا الطبيعية لحفظ الحركة بخط مستقيم. لقد كانت نباهة عظيمة من قبل أينشتاين حين أدرك أن الجاذبية هي أيضاً قوة قصور ذاتي. سأل أينشتاين: "هل يمكن للجاذبية والقصور الذاتي أن يكونا متماثلين؟" هذا السؤال قادنا مباشرة لنظرية حول الجاذبية.

---

(1) ليس ذلك كله ملاحظاً على الأرض، حيث تبطئ قوى الاحتكاك الجسم المتحرك. على كل حال، إنه الظاهر في الفراغ الخالي من الفضاء.

(2) تجدر الإشارة إلى أن التسارع لا يعني فقط التغير في السرعة. إنه كذلك يعني تغيراً في الاتجاه. لذا فالسيارة تتسارع بانقلابها حول الانحناء بسرعة ثابتة.

وطبقاً لاينشتاين، نتدبر قوة الجاذبية لشرح حركة المتساقط من الأشجار، والكواكب الدائرة حول الشمس لأننا نتجاهل الحقيقة؛ بأن محيطنا تسارع بالنسبة لنا. في الحقيقة، تتحرك الأشياء فقط كنتيجة لقصورها الذاتي. قوة الجاذبية غير موجودة!

لكن انتظر دقيقة. إذا كانت الحركة التي ننسبها لقوة الجاذبية بالفعل نتيجة القصور الذاتي، فهذا يعني أن الأجسام الشبيهة بالأرض تطير فقط عبر الفضاء في سرعة ثابتة بخطوط مستقيمة. هذا امر مضخم بكل براءة! الأرض تدور حول الشمس ولكن ليس بخط مستقيم، هل هذا صحيح؟ ليس ضرورياً. إن كل ذلك يعتمد على تعريفك للخط المستقيم.

### الجاذبية هي فضاء ملتوٍ

الخط المباشر هو أقصر مسافة بين نقطتين. هذا صحيح بالتأكيد على ورقة مستوية من الورق. لكن ماذا عن السطح المنحني مثل سطح الارض؟ فكر في طائرة تطير أقصر مسافة بين لندن ونيويورك. ما هو المسار الذي تتبعه؟ يبدو للبعض انها تتخفف في الفضاء، من الواضح مسار منحني. فكر في مسافر يشق طريقه بين نقطتين في أرض ذات تلال. فما المسار الذي يتبعه المسافر؟ يبدو للبعض الذين ينظرون نحو الأسفل من نقطة عالية جداً أن موجة الطبيعة لا ترى، وأن مسار المسافر يتموج نحو الخلف والأمام في أسلوب معظمه متعرج.

وخلافاً للتوقعات، أقصر مسافة بين نقطتين هي ليست دائماً الخط المباشر. وفي الحقيقة، انها فقط خط مباشر في نوع خاص من السطح المستوي. وعلى سطح منحني شبيه بالأرض، فإن أقصر طريق بين نقطتين دائماً هو منحني. وفي ضوء هذه النقطة، وسّع الرياضيون مفهوم



الخط المباشر ليحوي سطوحاً منحنية. وقد عرفوا الخط الجيوديسي بأنه أقصر مسار بين نقطتين على أي سطح، وليس فقط على السطح المستوي.

وماذا بإمكان كل هذا أن يعمل مع الجاذبية؟ فيما يبدو انه الضوء. إنها صفة مميزة للضوء بأنه يأخذ دائماً الطريق الأقصر بين نقطتين. مثلاً، إنه يأخذ أقصر مسار من هذه الكلمات التي تقرأها إلى عينيك.

الآن عُدْ بذاكرتك إلى ما سبق؛ إلى الفلكي الفاقد للذاكرة في تسارعه بسفينة الفضاء المعتمدة. منزعجاً من تجربته مع المطرقة والريشة، لذا يخرج ليزر ويضعه على رف في الجدار الأيسر لغرفة القيادة، وعلى ارتفاع 1.5 م. ثم يعبر إلى الجدار الأيمن لذات الغرفة، ومع قلم حبر عريض، يرسم خطاً أحمر على ارتفاع 1.5 م. أخيراً يشغل الفلكي جهاز الليزر فيوصل شعاعه أفقياً عبر غرفة القيادة. يضرب شعاع الليزر الجدار الأيمن؟

يعتمد ذلك على المنطق، فيما أن الفلكي أطلق الشعاع أفقياً، فسوف يضرب الجدار بالضبط على الضوء الأحمر. ليس كذلك؟  
الجواب هو لا!

بينما ينتقل الضوء عبر غرفة القيادة، فإن أرض سفينة الفضاء تشمل كل ما يلزم الوقت المضخم بمحركات الصاروخ. والنتيجة، الأرض تتحرك بثبات باتجاه الأعلى لتلتقي الشعاع. وكلما اقترب الضوء أقرب وأقرب إلى الجدار الأيمن، أصبحت الأرض أقرب وأقرب للضوء، أو من وجهة نظر الفلكي، الضوء أقرب وأقرب للأرض. وبوضوح، عندما يضرب الشعاع الجدار الأيمن، فإنه يضربه تحت الخط الأحمر. ويرى الفلكي شعاع الضوء ينحني بثبات باتجاه الأسفل عند عبوره غرفة القيادة.

ولا تتسّ ان الضوء يأخذ دائماً أقصر مسافة بين نقطتين. وأقصر مسافة على جسم مستوي هي خط مباشر، بينما أقصر مسافة على جسم منحني هي خطّ منحني. ماذا بعدئذ؟ هل نصنع نحن الحقيقة بأن شعاع الضوء يتبع مساراً منحنياً عبر غرفة قيادة سفينة الفضاء؟ هناك احتمال واحد مفسر: وهو أن الفضاء داخل غرفة سفينة الفضاء هو في بعض الأحيان منحني.

والآن أنت تجادل ان هذا خدعة متسببة بتسريع سفينة الفضاء. والنقطة الحاسمة على كل حال، ان ذلك الفلكي لا طريقة لديه لمعرفة انه في سفينة فضاء متسارعة. إنه فقط يختبر الجاذبية في غرفة على سطح الأرض. لذا كان التسارع والجاذبية غير قابلين للتمييز. هذا هو مبدأ التكافؤ. وما توضحه تجربة شعاع الليزر - بهذا يظهر القدرة الهائلة لمبدأ التكافؤ - هو أن ذلك الضوء في وجود الجاذبية يتبع مساراً منحنياً أو بكلمات أخرى الجاذبية تلوي مسار الضوء.

ان الجاذبية تلوي مسار الضوء لأن الفراغ - بوجود الجاذبية - منحني بعض الشيء. وبالحقيقة تتحول الجاذبية لتكون فضاء منحنياً. وماذا بالضبط نعني بالفضاء المنحني؟ انه من السهل ان نرى سطحاً منحنياً شبيهاً بسطح الأرض. لكن سبب ذلك هو انها تملك فقط اتجاهين، أو بعدين شمال - جنوب، وشرق - غرب. والفضاء معقد أكثر بقليل من ذلك. فبالإضافة للابعاد الثلاثة الفراغية، شمال - جنوب، شرق - غرب، فوق - تحت، فهناك بعد زمني واحد، ماضٍ - مستقبل. وكما بين أينشتاين، إن المكان والزمان مظهران للشيء نفسه، لذا فإنه من الدقة أكثر أن نفكر بهما كأربعة أبعاد "مكان - زمان".

البعد الرابع للزمان - المكان من المستحيل بالنسبة لنا رؤيته منذ ان عشنا في عالم ثلاثي الأبعاد. وهذا يعني بأن الانحناء أو الالتفاف

للبعد الرابع زمان - مكان تستحيل رؤيته. لكن هذا ما تقصده الجاذبية بانها: الالتفاف للبعد الرابع زمان - مكان.

ولحسن الحظ، نستطيع الحصول على بعض الافكار لما يعنيه هذا. تصور سباقاً للنمل، حيث يسرع النمل على سطح ذي بعدين على منصة بهلوانية. فالنمل يرى فقط ماذا يحدث على السطح، ولا يملك مفهوم ما فوق الفضاء وتحت المنصة كالبعد الثالث. والآن تصور - أن تكون جزءاً من البعد الثالث - وضع كرة مدفع على المنصة. فالنمل يكتشف أنه عندما يقترب من كرة المدفع، فإن مساره سوف يتغير عن اتجاه الكرة. ومن المعقول تماماً أن يشرح النمل حركته بالقول: ان كرة المدفع هي جهد قوة جذب عليه، وربما يسميها قوة الجاذبية.

على كل حال، فالنعم الالهية لافضلية البعد الثالث، اوضحت ان النمل مخطئ. فلا توجد قوة تجذبه نحو كرة المدفع. وبدلاً من ذلك، فإن كرة المدفع أشبه بالوادي في منصة البهلوان، وهذا سبب تغير اتجاه مسارات النمل نحو المنصة.

أدركت عبقرية اينشتاين اننا في موضع مشابه للنمل على منصة البهلوان. ومسار الأرض ينتقل عبر الفضاء ملتوياً باتجاه الشمس، كأكثر الكواكب في مدار دائري. ويجدر بنا ان نشرح هذه الحركة بالقول إن الشمس تبذل جهد قوة الجاذبية على الأرض. وعلى كل حال، فنحن مخطئون. إذا استطعنا رؤية الأشياء من منظور الأبعاد الأربعة - وهو شيء من المستحيل أن نقوم به مثلاً هو الأمر بالنسبة للنمل، لنرى الأشياء من البعد الثالث - فسوف نرى أنه لا يوجد هناك بديل مثل القوة. وبدلاً من ذلك صنعت الشمس انخفاضاً أشبه بالوادي في الابعاد الاربعة الزمان - المكان في الفراغ، والسبب ان الأرض تتبع مساراً قريباً من المسار الدائري حول الشمس لكونه أقصر مسار عبر الفضاء الملتوي.

ولا يوجد هناك قوة جاذبية. فالأرض تتبع الخط المباشر عبر مكان - زمان. وبسبب وجود الزمان - المكان قرب الشمس فإنها تلوي ذلك الخط، أو أن الخط الجيوديسي يحدث لكونه قرب المدار الدائري. وطبقاً للفيزيائيين ريموند شياو واشيل سبيليوتوبوس: "في النسبية العامة، لا يوجد قوة جاذبية". فما نربطه بشكل طبيعي بقوة الجاذبية على جسيمة ليس بقوة على الإطلاق: فإن الجسيمة تنتقل ببساطة عبر المسار الممكن الأكثر مباشرة في زمان - مكان منحنٍ.

يسافر الجسم عبر المسار الممكن الأكثر مباشرة عبر زمان - مكان في سقوط حر. وحيث أنه في سقوط حر، فإنه يجرب حالة عدم الجاذبية. والأرض في سقوط حر حول الشمس. وبالنتيجة، لا نشعر بجاذبية الشمس على الأرض. والفلكيون في المحطة الدولية الفضائية هم أيضاً في سقوط حر حول الأرض. وبالنتيجة لا يشعرون بجاذبية الأرض<sup>(3)</sup>.

تبرز الجاذبية فقط عندما يمنع الجسم من متابعة حركته الطبيعية. فحركتنا الطبيعية هي سقوط حر باتجاه مركز الأرض. والأرض تقاومنا وتجعلنا نشعر بقوتها على أجسامنا والتي نفسرها بالجاذبية. إن قوة الطرد المركزية هي فقط ما نشعر به عندما تمنعنا السيارة من الحركة الطبيعية في خط مباشر، فقوة الجاذبية هي ما نشعر به عند المحيط الذي يمنعنا من متابعة حركتنا الطبيعية على طول الخط الجيوديسي.

(3) معظم الناس يفترضون أن الفلكيين يدورون في فلك حول الأرض بدون وزن بسبب عدم وجود جاذبية في الفراغ. على كل حال، بارتفاع 500 كيلومتر أو أكثر من محطة الفضاء الدولية، الجاذبية هي 15% أقل منها على سطح الأرض. والسبب الحقيقي لكون الفلكي بدون وزن هو أن المركبة الفضائية في حالة سقوط حر بما يشبه وجود شخص في المصعد عندما ينقطع الكابل. الفرق هو أنهم لا يصطدمون بالأرض، لماذا؟ لأن الأرض كروية وبسرعة سقوطهم على سطح الأرض، فإن اتحاء السطح يبدو مبتعداً عنهم. لذلك فسقوطهم يكون في دائرة.

ربما يبدو انه ليس من الضروري تعقيد رؤية الأجسام الضخمة تتحرك تحت تأثير قصورها الذاتي خلال الزمان - المكان المزيف بدلاً من الحركة البسيطة تحت تأثير القوة الكونية للجاذبية. على أي حال، إن صورتين ليستا متماثلتين بالنسبة للنجمة فإن الشيء الذي زيف ليس مجرد مكان بل زمان - مكان للنسبية الخاصة. والصورة لذلك تساهم آلياً في التفاعل الغريب بين الزمان والمكان الضروري للحفاظ على سرعة الضوء ثابتة. فنظرة اينشتاين تتوقع أشياء عديدة.

فكر بالنمل على المنصة البهلوانية. فهناك أشياء كثيرة تستطيع ان تعملها مع المادة على المنصة بدلاً من ضغطها بكتلة ثقيلة أشبه بكرة المدفع. فمثلاً تستطيع هز زاوية واحدة صعوداً ونزولاً، وهذا سيسبب تموجاً في نسيج ينتشر خارجاً عبر المنصة أشبه بالموجات على سطح بركة. وبنفس الطريقة، ان تذبذب الكتلة الكبيرة أشبه بثقب اسود في فضاء يولد تموجات في نسيج الزمان - المكان. فمثل هذه الأمواج الجاذبية لم تكتشف مباشرة حتى الآن. لكن وجودها هو توقع وحيد لنظرية اينشتاين.

وحقيقة ان الأمواج تتأرجح خلال الزمان - المكان تعتبر المكان ليس فراغاً، بل هو وسط سلبي تخيله نيوتن. وبدلاً من ذلك، يمكن أن يكون وسطاً مع صفات حقيقة. فالمواد لا تجذب (تشذب) بسهولة إلى مواد أخرى عبر فضاء فارغ؛ كما تخيل نيوتن. فالمادة تشوه الزمان - المكان، وان هذا الزمان - المكان المشوه بدوره يؤثر على مادة أخرى. وكما أوضح ذلك جون ويلير بقوله: "المادة تخبر الزمان - المكان كيف يزيف، والزمان - المكان المزيف يخبر الكتلة كيف تتحرك".

إن تزيف الزمان - المكان سببه جسم ضخم يحتاج إلى وقت لينتشر إلى كتلة أخرى، كما أن تشويه منصة البهلوان بكرة مدفع أخرى يحتاج إلى الوقت ليصل إلى زوايا المنصة. وبسبب هذا، فالجاذبية

والزمان - المكان المزيف يعملان فقط بعد تأخير، في توافق تام مع حد السرعة الكونية الموجودة بسرعة الضوء.

إن حقيقة ان الزمان - المكان له بعض النوعيات للوسط الحقيقي أشبه بالهواء أو الماء الذي له مضامين للأجسام الكبيرة الشبيهة بالنجوم والكواكب. وبدورانها على محاورها، فهي فعلياً تعيق الزمان - المكان حولها. قاست وكالة ناسا التأثير، والمعروف بأنه اعاقلة الشكل، مع تجربة فضاء دوران الفلك المسمى جاذبية المجس B. إن اعاقلة الشكل هي صغيرة في حالة الأرض، لكن الانغماس في هذه الحالة يكون بتسريع دوران الثقب الأسود. مثل جسم يجلس في وسط إعصار كبير لدوران الزمان - المكان. واي واحد يسقط في الثقب الأسود سينغمس مع الإعصار حيث لا قدرة في الكون يمكن أن تواجهه (تقاومه).

### وصفة النسبية العامة

جديد اينشتاين حول الجاذبية جدير بالاهتمام. فالكتل - مثلاً، النجوم كالشمس - تزيّف الزمان - المكان. والكتل الأخرى - الكواكب مثل الأرض - تطير بحرية تحت تأثير قصورها الذاتي خلال الزمان - المكان المزيف. والمسارات التي تتبعها تسمى المسار الجيوديسي الذي ينحني لوجود مسارات محتملة أقصر في المكان المزيف. هذا كل شيء. وهذه هي النظرية النسبية العامة.

وكما يقال الشيطان يكمن في التفاصيل. فنحن نعرف كيف ان الجسم الكبير مثل كوكب يتحرك في فضاء مزيف يأخذ أقصر مسار ممكن. لكن كم كتلة تشبه الشمس في الزمان - المكان المزيف؟ لقد احتاج اينشتاين إلى أكثر من عقد ليجدها، والتفصيلات ستملأ الكتب المنهجية الأكبر من حجم دليل الهاتف. على كل حال، إن نقطة بداية

اينشتاين للنظرية النسبية العامة هي ليست صعبة التقييم. انها لا شيء من مبدأ التكافؤ.

لنتذكر مرة أخرى المطرقة والريشة في المركبة الفضائية المعتمدة. وبالنسبة للفلكي، سيبدو أنهما تسقطان على الأرض بفعل الجاذبية. وسوف يبدو بالنسبة لأي شخص يرى التجربة من خارج المركبة الفضائية ان المطرقة والريشة معلقتان في وسط الهواء، وان أرضية غرفة القيادة تتسارع نحو الأعلى لملاقتهما. انهما بلا وزن تماماً.

هذه الملاحظة هي مفتاح مهم. والجسم الساقط بحرية في الجاذبية يشعر بانعدام الجاذبية. تصور انك في مصعد، وشخص ما قطع الحبل. فبينما يسقط وأنت بلا وزن ستشعر بانعدام الجاذبية.

"أتى الاختراق فجأة في يوم من الأيام". هذا ما كتبه اينشتاين عام 1907. "كنت جالساً على كرسي في مكتب براءات الاختراع ببرن. وفجأة صدمتني الفكرة: إذا سقط رجل سقوطاً حراً، فلن يشعر بوزنه. ارجعني ذلك للخلف. هذه التجربة الفكرية البسيطة أوجدت لدي انطباعاً عميقاً وقادتني إلى نظرية الجاذبية".

فما أهمية السقوط الحر لجسم بدون جاذبية؟ حسناً إذا جربت انعدام الجاذبية - أو التسارع حيث يتشابه الاثنان - عندئذٍ فسلكه يوصف كاملاً بالنظرية النسبية الخاصة لاينشتاين. هنا النقطة الحاسمة للاتصال - الجسر الرابط العالي الأهمية - بين النظرية النسبية الخاصة والنظرية الجاذبية لاينشتاين والملاحظة بأن الجسم الساقط سقوطاً حراً لا يشعر بوزنه ولذلك يوصف بالنسبية الخاصة تقترح طريقاً مزدحماً لتمديد النسبية الخاصة لجسم يجرب الجاذبية. فكر بصديق يقف على الأرض وبوضوح جداً يجرب الجاذبية بضغط قدمه على الأرض. يمكنك أن تراقب صديقك من أي نقطة كانت، من مكان معلق فوق أو تحت شجرة أو من طائرة تطير. ولكن وجهة نظر واحدة تجهز دفعاً

كبيراً. إذا تصورت أشياء من وجهة نظر انها في سقوط حر، عندئذ تكون بلا وزن، خاضعة للاً تسارع. وحيث انك لا تشعر بالتسارع، فهذا يبرر استعمالك النظرية النسبية الخاصة لوصف صديقك.

لكن النسبية الخاصة تتعلق بما يبدو عليه العالم بالنسبة للناس الذين يتحركون في سرعة ثابتة نسبة لبعضهم البعض، وصديقك يتحرك متسارعاً إلى الأعلى نسبة لك. هذا صحيح، لكن ان لم تفكر بالحسابات المرهفة تستطيع ان تتصور صديقك يسافر بسرعة ثابتة، لمدة ثانية، وبعدها بسرعة أكبر قليلاً للثانية اللاحقة، وهكذا. وهذا ليس متقناً، ولكن يمكنك ان تقرّب تسارع صديقك كسلسلة من الخطوات السريعة المتزايدة. فكل سرعة تستعمل النسبية الخاصة لتخبرك ما الذي يحدث للمكان والزمان لصديقك.

طبقاً للنسبية الخاصة، الوقت يتباطأ لحركة المراقب. ولذا فالزمن يتباطأ لصديقك المتحرك نسبة لك. لكن انتظر، صديقك يتحرك نسبة لك لأنه يجرب الجاذبية. ويتبع ذلك، ان الجاذبية تؤخر الزمن! وهذا يجب أن لا يكون أكثر من مفاجأة. إذا، الجاذبية ببساطة هي زيف الزمان والمكان، وهذا هو السبب في أننا إذا ما جربنا الجاذبية، فإن مكاننا وزماننا يجب أن يكونا مشوهين.

والشيء الآخر الذي يتبع عند التفكير بصديقك الواقف على سطح الأرض، هو أنه إذا كانت الجاذبية أقوى - لنقل أن صديقك واقف على كوكب أضخم - فإن سرعته بالنسبة لك في السقوط الحر ستتسارع أكثر. طبقاً للنسبية الخاصة، فكلما تحرك الشخص بشكل أسرع، كلما تباطأ وقته. وبالنسبة، كلما كانت الجاذبية أقوى بالنسبة لشخص ما، كلما تباطأ وقته أكثر. ما يعنيه هذا هو أنك إذا كنت تعمل في مكتب بالطابق الأرضي، فستعمر أكثر من زملائك العاملين في الطابق العلوي. لماذا؟ لأنك بقربك من الأرض فأنت تسحب بقوة أكثر، ويتباطأ الزمان في جاذبية أقوى.



وجاذبية الأرض هي ضعيفة جداً. فبعد كل هذا، تستطيع أن تمسك ذراعك بمواجهتك، ولا تستطيع جاذبية الأرض ان تدفعك لترميك. ان ضعف جاذبية الأرض يعني ان الفرق بمعدل جريان الزمن بين أسفل واعلى الطوابق للمبنى يستحيل قياسه تقريباً. والمشهد المفتوح، مع الاختين التوأمين المعمرتين بمعدلات فرق ضخمة في مكان عملهما في ناطحة السحاب، يبدو أنه مبالغ فيه. ولا يهم ذلك، فهناك أماكن في الكون ذات جاذبية قوية جداً. كسطح نجم القزم الأبيض، حيث الجاذبية فيه اقوى من الشمس. ان نظرية اينشتاين للجاذبية تتوقع بذلك الزمن لهذه النجوم التي تمر ابطأ قليلاً. وإن اختبار هذا التوقع يبدو مستحيلاً. على كل حال، الطبيعة ملائمة جداً لتجهزنا "بساعات" على سطوح الاقزام البيضاء. والساعات بالحقيقة هي ذرات.

والذرات تعطي ضوءاً. والضوء فعلياً هو موجة تتموج إلى أعلى وأسفل شبيهة بموجة الماء. والذرات مثل الصوديوم أو الهيدروجين تعطي ضوءاً وحيداً، متموجاً لعدد مميز من المرات بالثانية الواحدة. هذه التموجات يعتقد انها مثل دقات الساعة. (وبالحقيقة الثانية تعرف بدلالة تموجات الضوء المعطى بنوع خاص من الذرات).

كيف تساعدنا هذه الصفة للذرات في رؤية تأثير الجاذبية على الزمن؟ حسناً، مع مناظيرنا نستطيع رفع الضوء من الذرات على الاقزام البيضاء. ونستطيع مقارنة عدد التموجات بالثانية للضوء الخارج من الهيدروجين على القزم الأبيض، مع عدد التموجات لكل ثانية للهيدروجين على الأرض. وما نجده هو أن هناك تموجات قليلة لكل ثانية في الضوء للقزم الأبيض. حيث يكون الضوء أكثر بطئاً. والزمن يجري أبطأ<sup>(4)</sup>.

---

(4) لاسباب تقنية، هذا التأثير يعرف بالازاحة الحمراء للجاذبية.

نحن نرى تأكيداً مباشراً لنظرية اينشتاين للنسبية العامة. وهناك نجوم تُعرف بنجوم اقوى من تلك الاقزام البيضاء. وكنتيجة للجاذبية القوية، فالزمن على سطح نجم النيوترون يتقدم ببطء أكثر بمرّة ونصف منه على الأرض.

### نتائج النسبية العامة

تأخر الزمن هو أحد التوقعات الجديدة لنظرية اينشتاين للنسبية العامة. وكما لمسنا ذلك سابقاً، هناك أمواج جاذبية نعرف أنها موجودة، لأن الفلكيين راقبوا ازواج النجوم المحتوية على نجم نيوترون واحد على الأقل، وهي تفقد الطاقة عند تسلسلها باتجاه بعضها البعض. هذه الحيرة حول فقدان الطاقة يمكن شرحها إذا كانت خارج الأمواج الجاذبية.

السباق الآن هو لاكتشاف الأمواج الجاذبية مباشرة بالتناوب في مكان ممتد ومضغوط. وصممت التجارب لاكتشاف ذلك باستعمال عملاق المسيطرين بطول كيلومترات عديدة. والمسيطرون مصنوعة من الضوء، لكن الفكرة بسيطة، أي اكتشاف التغير في طول المسيطرين حين تمر تموجات الموجة الجاذبية.

إن توقعاً آخر لنظرية اينشتاين، مر لاحقاً بدون تعليق، وسببه هو التواء الضوء بتأثير الجاذبية. وسبب ذلك الالتواء بالتأكيد هو الضوء الذي يحاور التضاريس المزيفة للزمان - المكان الرباعي الابعاد. وبالرغم من ان قانون نيوتن للجاذبية لا يتوقع بهذا التأثير، فإنه يعمل إذا دمج مع فكرة النسبية الخاصة بأن كل أشكال الطاقة، بما فيها الضوء، لها تأثير كبير. وكما ان الضوء يمر من جسم هائل كالشمس، فإنها تشعر بشدة الجاذبية والتوائها من دورتها.

وبالتأكيد، فإن النسبية الخاصة غير متوافقة مع قانون نيوتن للجاذبية. لذا فإن توقع التواء الضوء أخذ على اعتبار قبضة من الملح. وبالحقيقة النظرية - النسبية العامة - الصحيحة تتوقع بأن مسار الضوء سيلتوي مرتين على الأكثر.

العامل المميز لهذين العاملين هو لتسليط الضوء على شيء صعب حول مبدأ التكافؤ. وبالعودة إلى تجربة الفلكي الذي اطلق الليزر أفقياً عبر مركبة الفضاء ولاحظ ان شعاع الالتواء باتجاه الاسفل. لأنه لم تكن هناك طريقة يمكن أن يعرفها فلم يجرب الجاذبية في غرفة على سطح الأرض، لقد كان ممكناً ان نستنتج أن الجاذبية تلوي مسار الضوء. حسناً، هناك القليل من الكذب. وأنت ترى ان من الممكن للفلكي ان يخبر ما إذا كان داخل صاروخ أو على سطح الأرض.

ففي الصاروخ المتسارع، القوة التي تلصق قدم الفلكي إلى الأرض تسحبه عمودياً باتجاه الاسفل، عندما يقف في غرفة القيادة. وعلى سطح الأرض، فمن المهم معرفة مكان وقوف الفلكي لأن الجاذبية تسحب الأشياء باتجاه مركز الأرض. وبالنتيجة، الجاذبية تسحب باتجاه واحد في انكلترا، لكن بالاتجاه المعاكس في نيوزلندة؛ بالنسبة إلى انكلترا، فالنيوزلنديون هم مقلوبون رأساً على عقب والعكس بالعكس. واتجاه السحب للجاذبية لا يتغير كثيراً جداً من جانب واحد من غرفة لآخرى. ولا يهم ذلك، فمع أجهزة قياس حساسة بما فيه الكفاية، يستطيع فلكينا دائماً كشف التغير وإخبارنا ما إذا كان داخل صاروخ متسارع في الفضاء أو على سطح الأرض.

وبالتأكيد، إن ابطال مبدأ التكافؤ وجلب الصرح الكامل للنسبية العامة يهبط للأسفل. وعلى كل حال، لبناء نظرية الجاذبية يصعب تطبيق مبدأ التكافؤ على احجام صغيرة من المكان، كاحجار موجودة في الفضاء، ولا نستطيع الكشف عن التغيرات في اتجاه الجاذبية.

ما الذي حصل مع نظرية اينشتاين لتتوقع مرتين بانحراف الضوء لنيوتن؟ لقد أسسنا ان شعاع الليزر سيكون منحنيّاً للأسفل باعتراضه للغرفة على سطح الأرض، وهذه الكمية تُوجد تقريباً ما تتوقعه الجاذبية النيوترونية. الآن تصور بأن الغرفة هي في حالة سقوط حر، وتذكر عدم وجود جاذبية. لذا فشعاع الضوء سينتقل أفقيّاً عبر الغرفة ولا يلتوي على الإطلاق. لكن ليست كل أجزاء الغرفة هي في حالة تامة من السقوط الحر. فلأن جاذبية الأرض تجذب في اتجاه واحد من زاوية واحدة للغرفة وفي اتجاه آخر من الزاوية الأخرى، فالجاذبية لا تلغي تماماً كسقوط الغرفة في الهواء. ويسبب هذا، ما يراه الفلكي من شعاع الضوء المنحني للأسفل هو بنفس المقدار تقريباً في الغرفة على سطح الأرض. فالتأثيران أضيفاً معاً ليعطيا ضعفي الضوء الملتوي الذي توقعت به نظرية الجاذبية لنيوتن مع النسبية الخاصة.

لذا فإذا مرّ الضوء القادم من نجم بعيد بالقرب من الشمس بطريقة إلى الأرض، فمساره سيلتوي ضعفي ما توقع به نيوتن. مثل هذا التأثير سيسبب ازاحة موضع النجم قليلاً نسبة للنجوم الأخرى. علاوة على استحالة رؤيته في وضوح النهار، فمن الممكن ملاحظته خلال الخسوف الكلي للقمر عندما يكون بقعة مضيئة على قرص الشمس. مثل هذا الخسوف حدث في 1919/5/29، وانتقل الفلكي الانكليزي ارثر ادينغتون لجزيرة برنسايب في آخر ساحل غرب افريقيا ليراه. وأكدت صورته أن ضوء النجم بالحقيقة كان منحرفاً بجاذبية الشمس بالكمية المتوقع بها من خلال النظرية النسبية العامة.

ملاحظات ادينغتون هي التي جعلت اينشتاين يُعرف بأنه "الرجل الذي اثبت خطأ نيوتن". لكنها لم تكن توقعات ناجحة للنسبية العامة. فنيوتن وضح نظرياً بأن الكوكب يدور حول الشمس ليس في دوائر لكن في دوائر ذات شكل قطع ناقص، كدوائر مسحوقة. وبرهن بأن ذلك كان

نتيجة مباشرة لحقيقة أن قوة الجاذبية تسقط في قوة تسمى قانون المربع العكسي. وبكلمات أخرى، عندما تكون مرتين أبعد عن الشمس، فقوة الجاذبية ستكون أضعف بأربع مرات، وإذا كنت أبعد بثلاث مرات فإن قوة الجاذبية أضعف بتسع مرات، وهكذا.

النسبية تغير كل شيء. كبدائية، كل أشكال الطاقة ليس فقط كتلة - طاقة - تولد الجاذبية. والجاذبية نفسها هي شكل من أشكال الطاقة. وفكر في منصة البهلوان المزيفة وكم مقدار الطاقة المرنة التي تحتويها. وحيث ان الجاذبية هي شكل من أشكال الطاقة، فجاذبية الشمس نفسها تصنع جاذبية! انه تأثير ضعيف، ومعظم جاذبية الشمس ما تزال تأتي من كتلتها. والقرب من الشمس يعني ان الجاذبية قوية، فهناك مساهمة صغيرة تضاف إلى الجاذبية نفسها. وبالنتيجة كل جسم يدور هناك يشعر بجاذبية أكبر من المتوقع من قانون التربيع العكسي.

الآن هذه هي النقطة، فالكواكب تتبع مدارات قطع ناقص فقط إذا كانت هي مشدودة بقوة مطيعة لقانون التربيع العكسي للقوة. وهذا كان اكتشاف نيوتن. والنسبية تتوقع بأن القوة لا تطيع قانون التربيع العكسي. وبالحقيقة، هناك تأثيرات أخرى تسبب التحول عن الجاذبية النيوتنية مثل حقيقة أن الجاذبية تأخذ وقتاً لتنتقل عبر الفضاء. فالجاذبية لكوكب متحرك تعتمد على موضعه في أية لحظة، وبسبب ذلك لا يوجه باتجاه المركز الميت للشمس. والنتيجة هي ان الكواكب لا تتبع مسارات قطع ناقص متكررة لكن بالاحرى مسارات قطع ناقص تتغير اتجاهاتها في الفضاء، في نموذج شكل الورد. هذا غير قابل للملاحظة بعيداً عن الشمس. فالتأثير الأكبر هو عندما يكون قريباً، أي عندما تكون الجاذبية هي الأقوى.

وبلا شك، يوجد هناك شذوذ حول مدار الفلك الاقرب، عطارد.

فلبعض الوقت قبل نشر اينشتاين نظرية الجاذبية عام 1915 أربك الفلكيون بحقيقة ان مدار عطارد يتبع تدريجياً اثر نموذج شكل الوردة في الفضاء. هذا التأثير هو بسبب السحب الجذبي للزهرة والمشتري. فالشيء الشاذ على كل حال هو ان مدار عطارد سيبقى له اثر من نموذج شكل الوردة؛ حتى بغياب وجود كوكبي الزهرة والمشتري. انه تأثير ضعيف. على الرغم من ان عطارد يدور حول الشمس مرة كل 99 يوماً، ونموذج شكل الوردة يعقب فقط مرة كل 3 ملايين سنة. هذا هو بالضبط ما توقعه اينشتاين. وباستخدام النسبية العامة، استطاع ان يشرح تفاصيل مدار عطارد. وحتى الآن يعتبر توقعا ناجحاً آخر، وليس هناك ادنى شك بأن اينشتاين اكتشف النظرية الصحيحة للجاذبية<sup>(5)</sup>.

### غرائب النسبية العامة

النسبية العامة هي نظرية انيقة ورائعة. ومع ذلك، فهي صعبة التطبيق في الاوضاع الحقيقية. كايجاد زيف الزمان - المكان المسبب للتوزيع المعطى للكتلة. والسبب هو ان النظرية نوعاً ما معممة. فالمادة تخبر الزمان - المكان كيف يزيف. وعندئذ الزمان - المكان المزيف يخبر المادة بكيفية الحركة. والمادة عندما تتحرك فقط، تخبر الزمان - المكان بكيفية تغيير زيفه، وهكذا. هناك نوع من الدجاج والبيض المتناقضين في قلب هذه النظرية. والفيزيائيون سموها *اللاخطية*، وعدم الخطية بالنسبة للنظرين هي حبة بندق قاسية ليكسروها.

توضيح واحد للآخطية اشير إليه مسبقاً بأنه حقيقة الجاذبية، وهو مصدرها. حسناً إذا استطاعت الجاذبية صنع جاذبية اكبر، فإن الجاذبية

---

(5) او على الأقل نظرية قابلة للعمل لوقت، بما أن النسبية العامة غير معتقد انها الكلمة الاخيرة حول الجاذبية.

الزائدة تستطيع صنع جاذبية أكثر بقليل وهكذا. ولحسن الحظ، فالجاذبية ضعيفة جداً، لذا فمن غير الطبيعي للجسم الضخم ان يسلك سلوكاً حسناً، لكن ليس دائماً.

فبعض النجوم الكبيرة جداً تنهي حياتها بطريقة غريبة. عادة، يمنع النجم اصطدامه بجاذبيته بضغط الغاز الساخن في داخله المدفوع باتجاه الخارج. لكن هذا الغاز المدفوع للخارج يولد تجمعه حرارة. وبينما ينفد كل الوقود الممكن، فإنه ينكمش. وعادة بعض اشكال الضغط تتدخل لصنع قزم ابيض أو نجم نيوتروني، عالي الكثافة كجمرة هائلة. وعلى كل حال، فإذا كان النجم هائلاً جداً وجاذبيته قوية جداً، فلا شيء يستطيع إيقاف النجم من الانكماش نحو الداخل لهذه النقطة. وابتعد مما يعرفه الفيزيائيون، فإن مثل هذه النجوم ستزول من الوجود، وتترك جاذبيتها خلفها.

فما قلناه حول وجود الثقوب السوداء ربما يكون الأكثر غرابة لكل التوقعات للنسبية العامة. فالثقب الأسود هو منطقة زمان - مكان حيث الجاذبية قوية جداً فيها، فحتى الضوء لا يستطيع الهروب منها. وهكذا تبدو معتمدة. ومنطقة زمان - مكان هي العبارة التالية، لكن كتلة النجم الفاني.

كيف تستطيع ان تملك جاذبية بدون كتلة؟ فالجاذبية تبرز ليس فقط من الكتلة بل من كل أشكال الطاقة. ففي حالة الثقب الأسود تكون جاذبيته جاذبية أكبر ويدورها تكون جاذبية أكبر... لذا فالثقب بعيد توليد نفسه مثل رجل يثبت نفسه وسط الهواء بخيوط حذائه. فمن وجهة نظر الزمان - المكان فالثقب الأسود ثقب بشكل حرفي. بينما النجم مثل الشمس يوجد حفرة في محيط الزمان - المكان، والثقب الأسود يوجد بئر عميقة عند سقوط المادة لكن لا نستطيع مطلقاً الهروب منها مرة أخرى.

لاحظ الفيزيائي الحائز على جائزة نوبل سيرامانيان شاندراسيخار: "الثقوب السوداء في الطبيعة هي أكثر الأهداف التامة العينية هناك في الكون". فالعناصر الوحيدة في تركيبها هي مفاهيمنا للزمان - المكان<sup>(6)</sup>.

وبسبب جاذبيتها القوية جداً تظهر الثقوب السوداء التأثير الأكبر للنسبية العامة. وتتم احاطتها بسطح يُعرف بحادثة الأفق. وهذا يحدد نقطة اللا عودة للأهداف النائية والقريبة جداً من الثقب الأسود. وإذا تحركت بالقرب من حادثة الأفق، فسترى خلف رأسك ان الضوء سيلتوي حول الثقب قبل الوصول لعينيك. فإذا استطعت بطريقة ما ان تحوم خارج حادثة الأفق، فالزمن سيجري ببطء بالنسبة لك وستستطيع نظرياً مشاهدة المستقبل الكامل للكون المضيء الذي مر عليك أشبه بسينما من الماضي إلى الامام.

والحقيقة ان الزمن يجري بشكل أكثر بطناً في جاذبية قوية للثقب الاسود منه في مكان آخر في الكون. تخيل انك بعيد عن الثقب الأسود وعندك صديق يتباطأ بالقرب منه. ويسبب الفرق الملاحظ في جريان الوقت بالنسبة لكليهما، بينما أنت تسافر من الاثنين إلى الجمعة، يتقدم صديقك فقط من الاثنين للثلاثاء. وهذا يعني إذا وجدت طريقة تسبق بها صديقك، فإنك تنتقل من الجمعة راجعاً للثلاثاء. عندئذ تستطيع الانتقال بالزمن إلى الخلف.

---

(6) ان مصطلح الثقب الأسود صيغ من قبل جون ويلير عام 1965. وقبل عام 1965 كان هناك القليل من الأبحاث العلمية عن هذا الموضوع. وبعد ذلك، تفجر المجال. والمصطلح دخل اللغة اليومية. وغالباً الناس يتحدثون حول أشياء تختفي تحت ثقب اسود بيروقراطي. فالمصطلح هو توضيح تام لاهمية الحصول على الكلمات الصحيحة لوصف ظاهرة في العلوم. فإذا وصفوا صورة حية في عقول الناس، فالباحثون ينجذبون نحو هذا الموضوع.



بالحقيقة، لقد وجدت ان هناك طريقة لتشجع نفسك من موضع  
لآخر. فنظرية اينشتاين للنسبية تسمح بوجود ثقوب دافئة؛ نفق مثل  
طريق مختصر عبر الزمان - المكان. وبعد مرور شهر واحد على  
الثقوب الدافئة ووجود فتحة قرب صديقك، سيكون من الممكن الرجوع  
بالوقت من الجمعة إلى الثلاثاء.

فالمشكلة مع الثقوب هي انها تغلق الخطاف في أي لحظة ما لم  
تبق مفتوحة للمادة بجاذبية تنافرية. ولا أحد يعرف ان المادة الغريبة  
موجودة في الكون. ولا يهم ان تبقى الحقيقة الممتازة بأن نظرية  
اينشتاين للجاذبية لا تخرج عن امكانية انتقال الزمن.

هناك فروقات قليلة، بين نوع آلة الزمن التي سمحت بها النسبية  
العامة، والنوع الموصوف في رواية الخيال العلمي للكاتب اش جي  
ويلز. فلشيء واحد، أنت تسافر مسافة عبر الفضاء لتنتقل مسافة عبر  
الزمن. فلا تستطيع ببساطة الجلوس في آلة الزمن، وسحب الرافعة لتجد  
نفسك في العام 1776. والفرق الثاني المهم هو أنك لا تستطيع الرجوع  
للخلف لزمن قبل زمن بناء آلة الزمن. لذا فإذا اردت الذهاب في رحلة  
لصيد الديناصورات، فبناء آلة زمن اليوم لن ينفعك. فستجد ان  
المخلوقات الناشئة أو بعض الديناصورات الذكية قد خلقت وانقرضت  
منذ 15 مليون سنة.

وبالنسبة للفيزيائيين النظريين فإن آلات الزمن هي فكرة مشوشة  
ومزعجة. فإذا كان انتقال الزمن ممكناً، وكل انواع الاوضاع المستحيلة  
أو التناقضات ممكنة أيضاً، وأن يرجع رجل للخلف بالزمن ويقتل جدته  
قبل أن تنجب أمه، فالمشكلة هي أنه إذا كان قد قتل جدته، فكيف  
يستطيع أن يولد ليرجع بالزمن إلى الخلف ويفعل الفعل المشين؟

الاسئلة المربكة حفزت الفيزيائي الانكليزي ستيفن هوكينغ  
لافتراض حماية عبر الزمن. وأساساً، هو حظر واضح وصريح لانتقال

الزمن. وطبقاً لفرضية هوكنغ، فإن بعض ما لم يُعرف لحد الآن من قوانين الفيزياء بإمكانه التدخل لمنع انتقال الزمن. وليس لديه دليل قوي ليسأل: "أين يكون سواح المستقبل؟"

لم يعتقد اينشتاين نفسه بإمكانية انتقال الزمن، على الرغم من حقيقة نظرية الجاذبية المتوقع بها. فقد كان مخطئاً حول التوقعين الآخرين لنظريته. فلم يعتقد ان الثقوب السوداء ممكنة، واليوم لدينا دليل على أنها موجودة.

## ذروة الأرنب أعلى من القبة

الأرنب الأبيض سحب من القبة. ولكونه أرنباً كبيراً، فلقد استغرقت الخدعة مليارات السنين.

جوستن غادر

هناك كؤوس ذات تقنية عالية. حين تدور على محورها، تستطيع ان "تفهم" لترى كل انواع الضوء العادي وغير المرئي للعين البشرية. فتأخذها للخارج في ليلة باردة مليئة بالنجوم.

الشيء الأول الذي تراه هو السماء في حالة فوق بنفسجية لضوء مصدره نجوم أكثر سخونة من الشمس. وحيث ان بعض النجوم المألوفة قد زالت، وبعضها الآخر الجديد يعوم في منظر غامق ضبابي، فسمّة السماء هي نفسها كما تبدو للعين المجردة، وغالباً ما تبدو سوداء. وانت تدور لترى.

الآن أنت ترى الأشعة السينية، ذات الطاقة العالية المشعة بالغاز المسخن لمئات الآلاف من الدرجات كما لو انها تدور بأهداف غريبة شبيهة بالثقوب السوداء. وكذلك ترى سمّة السماء حيث تبدو غالباً سوداء.

وانت تدور للخلف، وتندفع نحو الوراء خلال الضوء فوق البنفسجي والمرئي إلى ضوء دون الأحمر، الصادر عن أجسام أبرد من

الشمس. الآن السماء مطعمة بجمرات ملتهبة، وما تزال النجوم الحديثة الولادة عينة في غاز مشيمي ووميضي وعمالقة حمراء في المهام المستحيلة. لكن علاوة على حقيقة ان السماء مضاءة بعدد كثيف من النجوم، فإنه يبقى الشيء نفسه. انها غالباً سوداء.

وانت تدور للامام. فترى أمواجاً راديوية، أحد انواع الضوء المستخدم بالرادار، والهواتف الجواله، وأفران المايكرويف. لكن شيئاً ما يحدث، وهو أن السماء تبدو كلها أكثر اضاءة!

وانت ترمي الكؤوس حرك عينيك، نحو الخلف. لكن لا شيء يتغير. السماء الكاملة، من الأفق إلى الأفق تتوهج بانتظام كلؤلؤ ابيض. وانست تدور اكثر، السماء تضيء أكثر وأكثر. فالفضاء الكامل يبدو متوهجاً، كأنه داخل مصباح ضوئي.

هل الكؤوس سيئة الاداء؟ كلا، انها تعمل على نحو جيد. فما تراه هو الأشعة الخلفية الكونية، كأثر كرة النار عند الكون المولود قبل 13.7 مليار سنة. وبشكل غير مصدق فما تزال الأشعة تتخلل كل مسامات الفضاء، مبردة بشكل كبير بتمدد الكون لكي تبدو الآن كأماج مايكروية أقل طاقة من الضوء المرئي. صدق أو لا تصدق. ان الأشعة الخلفية الكونية تحسب بدهشة 99% من الضوء في كوننا اليوم.

## العلوم النهائية

إن نظرية الجاذبية لآينشتاين، النظرية النسبية العامة، تصف كيف ان كل قطعة من المادة تسحب قطعة أخرى. والمجموعة الأكبر من المادة التي نعرفها هي الكون. ولا أحد يخجل من المشاكل الكبيرة الحقيقية في العلوم، فاينشتاين طبق عام 1916 نظريته للجاذبية لكامل الخلق. وبتطبيق ذلك فقد صنع علم الكون - العلوم النهائية - المتعامل مع الاصل والتقييم والقدر النهائي للكون.

وبالرغم من ان الافكار خلف نظرية الجاذبية لآينشتاين هي مخادعة، فإن الوسائل الرياضية ليست كذلك. والعمل خارجاً؛ بالتحديد كيف أن التوزيع الخاص للمادة يعوج الزمان - المكان هو بالحقيقة صعب جداً. وحتى العام 1962، فعلى امتداد نصف القرن من نشر آينشتاين نظرية الجاذبية، فإن الفيزيائي النيوزلندي روي كير حسب التشوه للزمان - المكان المسبب بالواقعية، والدوران والتعب الأسود.

إنه من المستحيل تكوين مفهوم حول كيف ان الكون يعوج الزمان - المكان بدون صنع فرضيات مبسطة حول كيفية مادته التي تنتشر خلال الفضاء. فاينشتاين افترض بأنه لا فرق في الكون أينما تواجد المراقب. وبكلمات أخرى، افترض بأن الكون لديه نفس الصفات الاجمالية أينما تكون أنت، ومن حيثما تكون، فهي تبدو تقريباً نفس الشيء في كل الاتجاهات.

الملاحظات الفلكية منذ 1916، بينت أن الفرضيات قد أسست جيداً. ان أحجار مبنى الكون - التي لم يدرك آينشتاين وكل شخص في وقت ما بانها مجرات - هي جزر ضخمة من النجوم أشبه بمجرتنا درب اللبانة. والمناظير الحديثة تُري بالفعل أن هذه المجرات مبعثرة بشكل جميل حول الكون. لذا فالنظرة من مجرة واحدة هي أكثر من نفس الشيء من النظرة من أية مجرة أخرى.

إن استنتاج آينشتاين، بعد تطبيق نظريته في الكون الكامل، هو أن الزمان - المكان الكامل يكون معوجاً بسبب تحرك المادة. وهذه هي الانشودة المركزية للنسبية العامة. وبالنتيجة فالكون لا يمكن له ان يستمر. هذا ما افزع آينشتاين. فمثل نيوتن من قبله، آمن آينشتاين بأن الكون مستقر، ومؤلف من أجسام تعرف بالمجرات، معلقة أساساً بلا حركة في الفراغ.

وحسب قول نيوطن: فالكون يكون مستقراً بشرط ان يكون مقنعاً. فالمادة تتمدد إلى ما لا نهاية بكل الاتجاهات. ما يشابه كوناً ابدياً، فكل جسم له أجسام كثيرة في جانب واحد، تسحبه بطريق واحد مع جاذبيتها، وعلى الجانب المقابل، يسحب بالطريق الآخر. مثل الحبل المسحوب بقوة من فريقي شد الحبل، فلذا يبقى بدون حركة.

على كل حال، طبقاً لنظرية الجاذبية لاينشتاين، فإن الزمان - المكان ينحني للخلف على نفسه، والابعاد الاربعة مكافئة لسطح ببعدين لكرة السلة. ففي هذا الكون شد الحبل الجذبي غير متوازن ابداً، لأن كل جسم يحاول سحب كل جسم آخر باتجاهه، والكون ينكمش بشكل غير مسيطر عليه.

ولانقاذ فكرة الكون المستقر، لجأ اينشتاين إلى توزيع نظريته الانيقية. فاضاف قوة لغزية للتناثر الكوني، حيث دفعت جزءاً من الأهداف في الكون. فلقد افترض بأن التأثير الهام هو فقط على الأجسام التي ابتعدت بشكل بارز، مما يشرح لماذا لم يلاحظ من قبل في جوار الأرض. فمجاهاة قوة الجاذبية التي تحاول جذب الأجسام إلى بعضها، فإن التناثر الكوني يحافظ على استقرار الكون إلى الأبد.

### الكون المتمدد

كان هناك خطأ في أفكار اينشتاين. ففي عام 1929، أعلن الفلكي الامريكي أدوين هبل - المسؤول عن اكتشاف أن أحجار مبنى الكون كانت المجرات - اكتشافاً جديداً كبيراً. فالمجرات كانت تطير كجزء من قطع شظايا كونية. وبعيد عن كونها مستقرة، فإن حجم الكون كان ينمو. فعندما تعلم اينشتاين من اكتشاف هبل تمدد الكون تخلى عن نظريته عن التناثر الكوني، مسمىً ذلك الخطأ الأكبر الذي

ارتكبه في حياته<sup>(1)</sup>. ان قوة تنافر اينشتاين اللغزية لم تحفظ المجرات معلقة بدون حركة في الفضاء. وكما أشار ارثر ادونغتون عام 1930، فإن الكون المستقر هو بالاصل غير مستقر، واشبه بالسكين المتوازية على حدها. فالوكزة المجردة كافية لتحديث تمهداً أو انبساطاً.

والآخرون لم يتعلموا من خطأ اينشتاين. ففي عام 1922، طبق الفيزيائي الروسي الكسندر فريدمان نظرية اينشتاين للجاذبية على الكون واستنتج انه يجب أن يكون متمدداً أو منبسطاً. وبعد 5 سنوات توصل القس الكاثوليكي جورج - هنري لومتر إلى نفس الاستنتاج بشكل مستقل.

وكما قال جون ويلير: "إن وصف اينشتاين للجاذبية كانحناء للزمان - المكان قاده مباشرة إلى أعظم التوقعات: الكون في حركة". انه قدر اينشتاين ان يفقد الرسالة في نظريته.

## تشكل الكون

حيث ان الكون يتمدد، فهناك استنتاج واحد لا يمكن الهروب منه، ويجب ان يكون أصغر من الماضي. وتخيل. ان التمدد يرجع للخلف، أشبه بفيلم سينمائي يعرض بالعكس، فالفلكيون استنتجوا ان كل الخلق عبر 13.7 مليار سنة مضت يوضعون في أحجار صغيرة ورقيقة. والدرس من انحسار المجرات هو ان الكون القديم لا يبقى للابد. وكانت هناك بداية زمن. وبعد مضي 13.7 مليار سنة، يبرز للوجود كل المادة والطاقة والمكان والزمان.

---

(1) انظر خطأ عالمياً لجورج غامو (نيويورك 1970)، حيث كتب المؤلف عن اينشتاين: "لقد لاحظ (عني) بأن مقدمة المصطلح الكوني كانت الخطأ الأكبر الذي ارتكبه في حياته".

والتمدد الكوني وجد بقانون بسيط قابل للملاحظة. فكل مجرة تتدفع بعيداً عن مجرة درب اللبانة بسرعة تتناسب طردياً عن بعدها. لذا فالمجرة هي ابعد مرتين عن الأخرى التي تتحسر أسرع بمرتين، فعشر مرات ابعد من أسرع عشر مرات وهكذا. هذه العلاقة المعروفة بقانون هابل، وجدت لتكون غير قابلة لتجنبها في أي كون ينمو بحجم، بينما يستمر للنظر بنفس الشيء من مجرة أخرى.

تصور كعكة بالزبيب فإذا استطعت ان تقلص حجمها والوصول إلى الزبيب، فالمنظر سوف لا يتغير. علاوة على ذلك، إذا وضعت الكعكة في فرن وتمددت، فسترى كل الزبيب ينحسر عنك ويستمر بانحساره بسرعة تتناسب طردياً مع المسافة عنك. ولا يهم موضع الزبيب بالنسبة لك، فالمشهد سيتكرر أيضاً. (الفرضية الضمنية هنا هي انها كأي كعكة كبيرة، وأنت بعيد دائماً عن الحافة) والمجرات هي كون متمدّد أشبه بالزبيب في كعكة الزبيب.

ويتبع ذلك، نحن نرى كل المجرات تطير بعيدة عنا، ولا نفترض اننا في مركز الكون وان التغيرات تحدث في فناء كوننا. أينما كنا في مجرة أخرى غير درب اللبانة، فسنرى نفس الشيء، كل المجرات تهرب. فالتغيرات لم تحدث هنا أو في مكان آخر أو في أي نقطة في الكون. فلقد حدث في كل الأماكن في آن واحد. ولقد قال فيلسوف القرن السادس عشر جيوردانو برنو: "في الكون، لا يوجد مركز أو محيط، لكن المركز هو في أي مكان كان".

### التغيّرات الساخنة

عندما تضغط شيئاً ما في حجم صغير - كضغط الهواء في منفاخ دراجة هوائية - فسيصبح ساخناً. والتغيّرات الكونية حدثت كذلك.



أول من أدرك ذلك هو الفيزيائي الأوكراني الأمريكي جورج غامو. فلقد برّر بأنه في اللحظات القليلة الأولى بعد تشكّل الكون كان الكون كرة نار ساخنة.

وبينما تتبدّد الحرارة والضوء لكرة النار النووية في الغلاف الجوي بعد ذلك بساعات وإيام فلم يكن ذلك مطابقاً لحرارة وضوء كرة النار الأولى. وحيث ان تعريف الكون ككل لم يكن له طريق للوصول إليه. ونتأججه هي البديل عن الكون الابدي. هذا يعني انه يجب أن يظلّ حولنا اليوم ليس كضوء مرئي - فلقد برد كثيراً نتيجة لتمدد الكون - ولكن كأمواج مايكرووية؛ وهي شكل غير مرئي من الضوء يميّز الأجسام الباردة جداً<sup>(2)</sup>.

لم يصدّق غامو انه من الممكن التمييز بين الأمواج المايكرووية (الراديوية) من مصادر أخرى للضوء في كوننا اليوم. على كل حال، كان مخطئاً. وقد أدرك طالبا رالف الفير وروبرت هيرمان ان اثر الحرارة كان لديه سمتان أحاديتان واللذان كان من الممكن أن تجعلاه يتوقّف. أولاً: لأنه أتى من حدث وقع في كل مكان في آن واحد، فالضوء يجب أن يأتي متساوياً من كل اتجاه بالسماء. وثانياً: إن طيفه - وهو طريقة تغير لمعان الضوء حسب تغير طاقة الضوء - ممكن أن يكون "الجسم الاسود". فليس ضرورياً معرفة ان الجسم الاسود هو فقط طيف الجسم الاسود وهو بصمة اصبع وحيدة.

رغم ان الفير وهيرمان توقعا وجود بقايا - من اشعاع الأمواج الخلفية الراديوية الكونية - في العام 1948، إلا أن ذلك لم يكتشف حتى عام 1965 بالصدفة.

فإن ارنو بنزياس وروبرت ويلسون، وهما فلكيان شابان في

---

(2) والصمام المفرغ الذي يشغل الفرن المايكروي والناقل الراداري.

مختبرات بيل في هولمديل نيو جيرسي، كانا يستخدمان هوائي أمواج راديوية بشكل قرن للاتصال مع تل ستار، وهو أول قمر صناعي حديث للاتصالات، عندما حزما مجموعة غامضة من الأمواج الراديوية "المشوشة" التي تأتي متساوية من كل اتجاه من السماء. وبعد أشهر متلاحقة أصابتهما الحيرة حول الاشارات وفكرا بشكل مختلف بانه ربما يكون هناك راديو بالقرب من مدينة نيويورك، كاختبار نووي للغلاف الجوي، أو أن هناك روث حمام يغطي هوائي الأمواج الراديوية الخاص بهما. وبالحقيقة، لقد تمكنا من التوصل إلى أهم اكتشاف كوني منذ اكتشاف هبل أن الكون ممتدد. ان شفق الخلق كان دليلاً قوياً على أن كوننا بدأ في الحقيقة ساخناً، وفي حالة كثبة، ونما في الحجم ثم برد بعد ذلك. لم يقبل بنزياس وويلسون بهذه النظرية لسنتين على الأقل باعتباره تشويشاً غامضاً. وباكتشافهما شفق الخلق، فقد نالا عام 1978 جائزة نوبل للفيزياء.

ان اشعاع الخلفية الكونية هو "المتحجر" الاقدم في الخلق. فقد وصلتنا مباشرة منذ ذلك الحين، معلومات ثمينة حول حالة الكون منذ طفولته قبل 13.7 مليار سنة. والخلفية الكونية هي كذلك الأبرد بالطبيعة؛ فقط حوالي 2.7 درجة فوق الصفر المطلق، أي أنها أقل درجة حرارة ممكنة (-270 درجة مئوية).

ان اشعاع الخلفية الكونية هو بالفعل إحدى السمات المدهشة لكوننا. فعندما ننظر إلى السماء في الليل، نجد صفتها الأكثر وضوحاً هي انها سوداء. على كل حال، إذا كانت اعيننا حساسة لضوء الأمواج الراديوية أكثر من الضوء المرئي، فسنرى شيئاً مختلفاً جداً. فبعيداً عن كونها سوداء إن السماء الكاملة - من الأفق إلى الأفق - ستكون بيضاء؛ أي أشبه بضوء المصباح. بعد مليارات السنين من الحادثة، ما يزال الفضاء متوهجاً مع اثر حرارة التغيرات التي حدثت.

وبالحقيقة، إن كل حجم مكعب سكر في الفضاء الفارغ يحتوي على 300 فوتون من اشعاع الخلفية الكونية. و99% من الفوتونات بالكون مرتبطة بالداخل مع 1% من ضوء نجم. إن اشعاع الخلفية الكونية موجود في كل مكان. فإذا بدلت محطة التلفاز بين العديد من المحطات التلفزيونية، فإن 1% من "التشويش" على شاشة التلفاز هو اثر من هذه التغيرات العظيمة.

## الظلام في الليل

إن حقيقة ان الكون بدأ بهذا الشكل تشرح لغزاً آخر؛ أي لماذا كانت سماء الليل مظلمة؟ كان الفلكي الالماني جونز كيبلر في العام 1610 أول من أدرك ان تلك مسألة محيرة.

فكر بغابة ذات أشجار صنوبر مفصولة بمسافات منتظمة مرتبة. فإذا ركضت في الغابة بخط مباشر فعاجلاً أم آجلاً ستصطدم بشجرة. وبالطريقة نفسها، إذا امتلأ الكون بنجوم بينها فراغات منتظمة، فإن نظرك سيقع على نجم مهما كان الاتجاه الذي تنظر منه من الأرض. فبعض هذه النجوم ستكون بعيدة. وعلى كل حال، ستكون هناك نجوم بعيدة أكثر من نجوم أخرى قريبة. وبالحقيقة - وهذه نقطة حاسمة - سيزداد عدد النجوم مما يعوّض بعدها. وبكلمات أخرى، النجوم في بعد معلوم من الأرض ستساهم بضوء أكثر من النجوم الأخرى البعيدة بمقدار الضعف، وثلاث مرات أبعد، وأربع مرات أبعد وهكذا. فعندما يصل الضوء إلى الأرض سيضاف، والنتيجة ستكون كمية لا نهائية من الضوء!

هذا حمق، فالنجوم لا تشبه النقطة، إنها اقراص صغيرة. لذا فالنجوم القريبة تبدد بعض الضوء مما عند النجوم البعيدة مثلما تحجب أشجار الصنوبر القريبة تلك البعيدة. ولكن بعد أخذ هذا التأثير بالحسبان، فالاستنتاج الذي يبدو أنه لا مفر منه هو ان السماء الكاملة

تكون "مغطاة" بالنجوم، وبدون فجوات بينها. وبعيداً عن ظلام الليل، فسماء الليل يجب أن تكون أكثر اضاءة من سطح النجم النموذجي. فالنجم النموذجي هو قزم احمر، والنجم يتوهج أشبه بالجمرة الميتة. وبالنتيجة فالسماء في منتصف الليل تتوهج بلون الدم الاحمر. والأمر المحير هو لماذا لم تبسط هذه الفكرة في مطلع القرن التاسع عشر من قبل الفلكي الألماني هاينرش اولبرز والتي عُرِفَت فيما بعد بمفارقة هاينرش تشريفاً له.

إن الحل في تناقض اولبرز يكمن في إدراك أن الكون لم يكن موجوداً ولكنه نشأ. فمنذ لحظة الخلق هناك 13.7 مليار سنة حتى يصلنا ضوء النجوم البعيدة. لذا فالنجوم والمجرات التي نراها هي تلك القريبة بما يكفي بحيث يحتاج ضوءها إلى أقل من 13.7 مليار سنة ليصلنا. فمعظم النجوم والمجرات بعيد جداً ولذا فإن ضوءها يحتاج إلى أكثر من 13.7 مليار سنة ليصلنا. ان ضوء هذه الأهداف ما يزال في طريقه إلى الأرض.

لذلك، فإن السبب الرئيسي لعتمة السماء في الليل هو ان الضوء من معظم الأهداف في الكون لم يصلنا. ومنذ فجر تاريخ البشرية، حدّق الكون في بدايته في وجه ظلمة السماء في الليل. ونحن ببساطة لا ندرك ذلك.

وبالتأكيد إذا انتظرنا مليار سنة أخرى، فسنرى نجومًا ومجرات بعيدة جداً، بحيث إن ضوءها سيحتاج إلى 14.7 مليار سنة ليصل إلينا. والسؤال الذي يبرز هو: إذا عشنا تريليونات من السنين في المستقبل فهل سيكون لدى الضوء الصادر عن النجوم والمجرات الكثيرة الوقت ليصلنا، وهل ستكون السماء في الليل حمراء؟ الجواب هو لا. وتعليل كيبلر واولبرز مستند إلى افتراض غير صحيح؛ وهو ان النجوم تعيش للأبد. وبالحقيقة، حتى النجوم ذات العمر الطويل ستستخدم كل طاقتها

القصوى وستحترق بعد حوالى 100 مليار سنة. وهذا وقت طويل جداً قبل وصول الضوء إلى الأرض ليجعل السماء حمراء.

## المادة المعتمدة

إنه من الصعب ان نفهم من أين أتت مجرتنا درب اللبانة. واكبر التغيرات التي حدثت نشوء خليط من الجسيمات المادية والضوء. والمادة تأثرت بالضوء. فمثلاً إذا تكتلت المادة مع مواد أخرى فستكون انعكاساً لشفق هذه التغيرات، ولن تكون منتظمة تماماً عبر سماء اليوم لكن ستكون أكثر اضاءة في بعض الأماكن دون أماكن أخرى. وحقيقة ان الشفق يحيط بكل السماء يعني ان المادة التي نشأت أثناء التغيرات منتشرة ببساطة شديدة. ولكن نعرف انه لا يوجد انتشار بسيط. وبعد كل هذا، فإن كون اليوم هو ملفت بمجرات النجوم وعناقيد المجرات وفراغ هائل بينها. ففي بعض الأحيان، يجب أن تكون المادة في الكون أبعد من كونها موزعة ببساطة خلال الفضاء لتكون ملفتة. وبداية هذه العملية تكون مرئية في اشعاع الخلفية الكونية.

ففي عام 1992، اكتشفت اختلافات قليلة جداً في اضاءة الشفق من قبل ناسا بالقمر الصناعي COBE المستكشف للخلفية الكونية. هذه الموجات الكونية، تظهر أنه وبعد حوالى 300,000 سنة، فإن بعض أجزاء الكون شديدة الكثافة ببضعة آلاف جزء من المائة من غيرها. وبطريقة ما، هذه المجموعات من المواد - "بذور" التركيب - تنمو لتشكل عناقيد ضخمة من المجرات التي نراها اليوم. لكن هناك مشكلة.

إن مجموعات المادة تنمو لتصبح مجاميع أكبر بسبب الجاذبية. إذا كان المحيط ذا مادة أرق من المحيط المجاور له فإن جاذبيته القوية ستسرق مادة أكثر من المحيط المجاور له. فالغني يصبح أكثر غنى والفقير يصبح أكثر فقراً. والمناطق الكثيفة للكون ستكون دائمة الكثافة

حتى تصبح المجرات التي نراها اليوم. والمشكلة ان النظريين لاحظوا أن 13.7 مليار سنة لم تكن فترة كافية لقوة الجاذبية لتجعل مجرات اليوم خارج المجاميع الرقيقة للمادة المشاهدة من قبل القمر الصناعي COBE. والطريقة الوحيدة التي كان بإمكان المجرات القيام بذلك بها هي إذا كانت هناك كمية أكبر من المادة في الكون من تلك المرتبطة أكثر بالنجوم المرئية.

فعلياً، كان الدليل القوي للمادة المفقودة حاضراً. والمجرات البرمية مثل درب اللبانة تشبه دوامة عملاقة من النجوم، ونجوم هذه المجرات موجودة لتكوّن دوامة حول مراكزها بسرعة أكبر. والحقيقة، أنها يجب أن تطير في الفضاء بين المجرات، مثلما يحصل عندما تُدفع إلى دوامة جعلها شخص ما تدور بسرعة كبيرة. والتفسير المميز هو بأن فلكي العالم يأتون مع المجرات الشبيهة بمجرتنا درب اللبانة التي تحتوي على عشرة أضعاف أكبر من المادة المرئية في النجوم. ويسمون المادة غير المرئية بالمادة المعتمدة. ولا أحد يعرف ما هي. فالجاذبية الزائدة للمادة المعتمدة تمسك النجوم في افلاكها وتوقفهما عن الطيران في الفضاء بين المجرات.

ان الكون كاملاً يحتوي على كمية من المادة المعتمدة التي تعادل عشرة أضعاف أكثر من المادة العادية، والجاذبية الزائدة هي فقط كافية لايجاد مجاميع من المادة المرئية بواسطة COBE في عناقيد مجرتنا اليوم خلال 13.7 مليار سنة منذ ولادة الكون. ان صورة ما حدث محفوظة<sup>(3)</sup>. ان الثمن يضاف إلى الكثير من المادة المعتمدة، والتي لا

---

(3) فعلياً هناك كمية من المادة المعتمدة تعادل ما بين 6 و 7 أضعاف المادة العادية. وهذا بسبب ان النجوم تحسب فقط حوالي نصف المادة العادية. والباقي - الذي يكون بشكل غيمة قاتمة غازية بين المجرات - ولم يعرف حتى الآن.

أحد يعرفها تقريباً. فبكلمات دوغلاس ادمز في الضار على الاغلب:  
"لفترة طويلة من الزمن كان هناك تخمين وخلاف حول المكان الذي  
فقدت به ما سُميت "بالمادة المفقودة" للكون. كل اقسام العلوم للجامعات  
الكبرى اكتسبت تفاصيل ومعدات أكثر لتحقيق وتبحث عن قلب المجرات  
البعيدة، ثم قلب المركز والحافات البعيدة للكون الكلي، وفعلياً حين  
تعقبت حقيقة وجودها تحولت لتصبح كل الأشياء التي جمعتها معداتها!".

### التضخيم

إن حقيقة ان التغيرات التي حدثت لا تعطي وقتاً كافياً للمادة لتتكثف  
في مجرات ليست هي المشكلة الوحيدة مع السيناريو. بل هناك مشكلة  
أخرى قابلة للنقاش بشكل أكثر جدية وهي تهتم ببساطة الأشعة الخلفية  
الكونية.

تصل الأشياء إلى نفس درجة الحرارة عندما تنتقل الحرارة من  
الجسم الساخن إلى البارد. فمثلاً إذا وضعت يدك الباردة على زجاجة  
ماء ساخن، فالحرارة ستنتقل من الزجاجة إلى يدك وستصبح بنفس  
درجة الحرارة. ان الأشعة الخلفية الكونية اساساً بنفس درجة الحرارة.  
وهذا يعني أنه عندما نما حجم الكون البدائي، وتأخرت بعض القطع عن  
الأخرى بدرجة الحرارة فإن الحرارة انتقلت إليها من القطع الأكثر دفئاً؛  
معادلة درجة الحرارة.

وتبرز المشكلة إذا تصورت ان تمدد الكون يجري للخلف أشبه  
بفيلم سينمائي معكوس. وفي الوقت الذي كان فيه الاشعاع الكوني  
السابق على اتصال مع المادة - بحوالى 300,000 سنة بعد ذلك - فإن  
قطع الكون التي هي اليوم على جوانب متضادة في السماء بعيدة جداً  
عن الحرارة بحيث يصعب انتقال هذه الحرارة من قطعة إلى أخرى.

والسرعة القصوى التي من الممكن أن تتدفق فيها هي سرعة الضوء، وان 300,000 التي احتاجها الكون ليصبح موجوداً ليست طويلة بشكل كافٍ. لذا كيف يكون الاشعاع الكوني بنفس درجة الحرارة أينما كنت اليوم؟

وصل الفيزيائيون للجواب المميز. تتدفق الحرارة للخلف والامام خلال الكون، بدرجة حرارة متساوية، فقط إذا كان الكون المبكر أكثر صغراً من الجريان الخلفي للفيلم الخاص بنا والمطبق علينا. فإذا كانت المناطق أكثر قرباً من بعضها، فهناك الكثير من الوقت للحرارة لتتدفق من الاتجاه الساخن إلى البارد بدرجات حرارة متساوية. لكن إذا كان الكون أكثر صغراً مما ابتدأ به، فيجب أن يظهر زيادة كبيرة في النمو للوصول إلى حجمه الحالي.

وطبقاً لنظرية التضخم، "تضخم" الكون خلال أول ثانية للوجود، خاضعاً لتمدد ظاهري عنيف. وما قاد التمدد هو سمة غريبة لفراغ الفضاء الخالي، بالرغم من انه ما يزال باهتاً بالنسبة للفيزيائيين. والهدف هو ان هذا التمدد التضخم كان سريعاً، والذي جرى أسرع من النهار. وعندئذٍ حدث التمدد الأكثر رزانة الذي نراه اليوم. ان تمدد هذا الفعل الجبار هو أشبه بتمدد حزمة من الديناميت، فالتضخم من الممكن ان يشبه الانفجار النووي. وكما قال رائد التضخم ألان غيث: "ان نظرية حدوث التغيرات القياسية تقول انه لا شيء حول حدوث التضجيج، ولماذا يحدث التضجيج أو ماذا حدث قبل التضجيج". التضخم هو على الأقل محاولة لمخاطبة هذه الأسئلة.

فمع التضخم والمادة المعتمدة، فإن سيناريو هذه التغيرات يمكن أن يحدث. وبالحقيقة، حين يتحدث الفلكيون عنها هذه الايام، فغالباً ما يقصدون أنها تحدث مع التضخم والمادة المعتمدة. وعلى كل حال، التضخم والمادة المعتمدة لم يوجد افكاراً مماثلة. وبدون أي شك، نعرف



ان الكون بدأ في حالة كثيفة ساخنة وتوسع وبرد حتى الان، هذا هو سيناريو ما حدث. وذلك التضخم ما يزال غير مؤكد؛ وحتى الآن لا يوجد تعريف للمادة المعتمدة.

إحدى نبضات التضخم هي انه يجهز شرحاً ممكناً لاصول التراكيب مثل المجرات في كوننا اليوم. ولمثل هذه التراكيب التي شكلت، هناك نوعاً ما شيء من عدم الاستقرار في الكون في مرحلة مبكرة جداً. تلك الخشونة الاولى تتسبب بما يسمى التذبذب الكمي. اساساً، تسبب قوانين الفيزياء الدقيقة مناطق صغيرة جداً في الفضاء والمادة لتهتز بشكل شبيه بالماء المغلي في قدر. هذه التذبذبات في كثافة المادة كانت صغيرة؛ وأصغر من نرات اليوم. والتمدد الظاهري للفضاء الذي حدث بسبب التضخم حسن رؤيته بحجم ملاحظ. وبشكل غريب، التراكيب الأكبر في كوننا اليوم هي عناقيد كبيرة من المجرات، التي ربما انتجت بنوراً أصغر من النرات!

التضخم على كل حال يتوقع ببعض الأمور حول كوننا التي لا يبدو أنها تتوافق مع الحقائق. حالياً، الكون يتمدد. وجاذبية كل المادة في الكون تعمل على كسر التمدد. وهناك احتمالان رئيسان، الأول ان الكون يحتوي على مادة كافية تتباطأ فعلياً وتعكس تمددها، ليندمج الكون للخلف مما يسبب أزمة كبيرة، وهو نوع من صورة المرأة لما حدث عند ولادة الكون. والثاني انه يحتوي على مادة غير كافية تتمدد للأبد. والتضخم يتوقع بأن الكون يجب أن يكون متوازناً على حافة السكين بين هذين الاحتمالين. وسيستمر بالتمدد، ولكنه يتباطأ كل الوقت، واخيراً يجري أسرع من النهر في مستقبل غير متناه. ولكي يحدث هذا، يجب أن يعرف الكون ما هي الكتلة الحرجة. المشكلة هي أنه حتى عندما تجتمع كل المادة في الكون - مادة مرئية ومعتمدة - فإنها الكمية لحوالي ثلث الكتلة الحرجة. والتضخم يبدو غير مستهل به. حسناً هكذا ظل الأمر حتى حصل الاكتشاف المدهش في العام 1998.

## الطاقة المعتمدة

لاحظ فريقان "السوبرنوفات" - بانفجار النجوم - في المجرات البعيدة. أحدهما ترأسه الأمريكي سول بيرل موتر، والآخر قاده الاسترالي نك سنتسف وبران شمدت. فالسوبرنوفات هو عبارة عن انفجار النجوم والتي تتألق مجراتها الابوية وبذلك يمكن رؤيتها من مسافات بعيدة خارجية في هذا الكون. لاحظ أحد الفريقين الفلكيين هذه الظاهرة وعرفها بسوبرنوفات I. ولديها ميزة بأنها عندما تنفجر، فإنها تشرق دائماً بنفس الاضاءة. لذا فإذا رأيت إحداها أضعف من الأخرى، فأنت عندئذ تعرف بأنها الأبعد.

فما رآه الفلكيون هو أن المجرات البعيدة جداً أضعف مما توقعوه، مع الأخذ بعين الاعتبار المسافة التي تبعد بها عن الأرض. والطريقة الوحيدة لشرح ما رآوه هي بأن تمدد الكون تسارع منذ انفجار النجوم، مما دفع هذه النجوم باتجاه أبعد مما هو متوقع وجعلها تظهر للعيان بشكل أضعف.

وقد كان ذلك مفاجأة دخلت عالم العلوم. فالقوة التحتية المؤثرة على المجرات تتوقع بسحب جذري متبادل. مما يوجب كسر التمدد وليس تسريعه.

والشيء الوحيد الذي يسرع الأشياء كان الفضاء نفسه. وخلافاً لكل التوقعات، لا يمكن أن يكون فارغاً. فيجب أن يحتوي على بعض الأنواع الغريبة التركيب والمجهولة العلوم - "الطاقة المعتمدة" - والتي مارست نوعاً من التناظر الكوني، وهي مقاومة للجاذبية وتقود المجرات جانباً.

والفيزيائيون كلهم بمستوى واحد يأتون ليفهموا الطاقة المعتمدة. فنظريتهم المفضلة، هي ان الميكانيك الكمي، يتوقع طاقة مشاركة مع

الفضاء الفارغ وتساوي قيمتها 1 متبوعاً بـ 123 صفراً أكبر من ملاحظة بيرل موتر! لقد وصف الحائز على جائزة نوبل ستيفن فاينبرغ ذلك "بالفشل الأسوأ للقيمة المقدرة في تاريخ العلوم".

وبالرغم من الاحراج، فالطاقة المعتمدة لها على الأقل نتيجة مرغوب فيها. إن تسمية ذلك بالتضخم يتطلب أن يملك الكون الكتلة الحرجة، ولكن كل المادة في الكون مجتمعة تشكل فقط ثلث الكتلة الحرجة. فكل أشكال الطاقة - كما اكتشف اينشتاين - لديها كتلة فعلية. ومن ضمنها الطاقة المعتمدة. وبالحقيقة أنها توجد لتحسب ثلثي الكتلة الحرجة؛ ولذا فالكون له بالضبط الكتلة الحرجة؛ تلك التي توقعها التضخم.

وعلاوة على انه لا أحد يعرف ما هي الطاقة المعتمدة، فالاحتمال الوحيد هو المشاركة مع القوة التناظرية للفضاء الفارغ المقترح من قبل اينشتاين. ففي العلوم، يبدو ان كل الأشياء تبدأ وتنتهي مع اينشتاين. وخطؤه الكبير ربما يتحول ليصبح نجاحه الكبير.

وتجدر الإشارة إلى أن ما حدث، مع كل نجاحاته، ما يزال بشكل أساسي وصفاً لكيفية تطور كوننا من حالة مكثفة جداً وحارة جداً إلى حالته اليوم مع المجرات والنجوم والكواكب. وكيف بدأ كل ذلك ما يزال لغزاً.

### للفردية وما بعدها

تصور تمدد الكون يرجع للخلف مرة أخرى أشبه بفيلم سينمائي معكوس. فحيث أن الكون ينكمش لنقطة، فما يحتويه من مادة تصبح مضغوطة أكثر وأكثر سخونة. وبالحقيقة لا يوجد هناك حدود لهذه العملية. ففي هذه اللحظة، بدأ تمدد الكون - لحظة ولادته - في كثافة

غير نهائية وحرارة غير نهائية. والفيزيائيون سموا هذه النقطة انفرادية لا نهائية. وطبقاً للتغيرات القياسية، فالكون كان قد ولد منفرداً. والمكان الآخر لنظرية الجاذبية لاينشتاين التي تتوقع بالانفرادية هو في قلب الثقب الأسود. ففي هذه الحالة فإن مادة النجم الكارثية تنقلص فعلياً وتصبح مضغوطة بحجم صغير ولذلك تصبح كثافته وحرارته لا نهائيتين أيضاً.

والانفرادية هي حالة لا حسية<sup>(4)</sup>. فكل كيان يبرز في نظرية فيزيائية، يخبر ان تلك النظرية - في هذه الحالة، نظرية الجاذبية لاينشتاين - هي معيبة. ونحن نمدده خلف المجال حيث كل شيء حساس حول العالم. وهذه ليست مفاجأة. فالنسبية العامة هي النظرية الكبيرة جداً. ففي مراحلها الأولى، كان الكون أصغر من ذرة. ونظرية الحقل الذرية هي النظرية الكمية.

وطبيعياً، ليس هناك تداخل بين العزمين الشاهقين لفيزياء القرن العشرين. وعلى كل حال، انهم يدخلون في صراع حول قلب الثقوب السوداء وحول ولادة الكون. فإذا ذهبنا لفهم كيف ان الكون اتى ليكون موجوداً، فنحن نذهب لنجد وصفاً احسن لحقيقة أكثر من نظرية اينشتاين للجاذبية. فنحتاج عندئذٍ للنظرية الكمية للجاذبية.

وفرضية ايجاد هذه النظرية هي كبيرة. وبسبب عدم الموافقة الأساسية بين النسبية العامة والنظرية الكمية، فالنسبية العامة أشبه بكل نظرية فيزيائية سابقة، فهي وصف لتوقع المستقبل. فإذا كان الكوكب هنا الآن، ففي حساب اليوم، سيتحرك هناك باتباع ذلك المسار. وكل هذه الأشياء قابلة للتوقع بدقة 100%. والنظرية الكمية هي وصفة لتوقع الاحتمالات. فإذا طارت الذرة عبر الفضاء فكل الذي نستطيع توقعه هو

---

(4) فعلياً، هناك تمييز دقيق بين الانفراديات بقلب الثقب الأسود والتغيرات الكبرى. فالأولى انفرادية بالمكان والثانية هي انفرادية بالزمان.

احتمالية المكان النهائي وكذلك مسار الذرة. فالنظرية الكمية تقوض الأحجار الأساسية للنظرية النسبية العامة.

وفعلياً يحاول الفيزيائيون اكتشاف النظرية الكمية الصعبة للجاذبية بعدة طرق. والأمراً غير القابل للشك، هو أن الشيء المحصل عليه والأكثر دعاية هو نظرية الاوتار المحسنة، والتي تنتظر لاحجار المبنى الأساسي للمادة ليس كجسيمات تغطية بل كقطع رقيقة جداً "لوتر". فالوتر - للطاقة - الكتلة الأكثر تركيزاً - يستطيع التذبذب مثل وتر الكمان، وكل مسافة تذبذب "طور" توافق الجسيمة الأساسية كالإلكترون أو الفوتون.

وما يحفز نظريات الوتر هو أن بعض أشكال الجاذبية - على الرغم من انها ليست للنسبية العامة - تحتوي آلياً على نظرية الوتر. فأحد التعقيدات البسيطة هو ان الاوتار لنظرية الوتر تتذبذب بعالم عشاري الابعاد، مما يعني ان هناك ستة أبعاد إضافية صغيرة جداً بالنسبة لنا لملاحظتها. والمشكلة الأخرى هي ان نظرية الاوتار تتضمن رياضيات معقدة بشكل مفزع بعيدة البرهان لاستحالة جعل التوقع معها ضد الحقيقة.

ولا أحد يعرف مقدار القرب أو البعد عن امتلاكنا النظرية الكمية للجاذبية. وبدونها لا يوجد أمل للانتقال بخطوات خلفية إلى بداية الكون. وعلى كل حال، بعض الأشياء التي يجب أن تحدث على طول الطريق هي واضحة.

والآن فكر بتمدد الكون عكسياً مرة أخرى. ففي البداية، سيتقلص الكون بنفس المعدل بكل الاتجاهات، وهذا بسبب ان الكون جميل جداً بكل الاتجاهات. لكن هذا الجمال المثير ليس نفسه الجمال المعني. وبشكل غير قابل للشك، سيكون هناك انسياب للمجرات في اتجاه واحد. ففي المراحل الأولى للانكماش فإن اللاتوازن لن يكون لديه تأثير

ملاحظ. والكون ينكمش لحجم اصغر. والمراحل النهائية للاندماج ستكون فوضى عنيفة. والجاذبية - التي تشوه الزمان - المكان - هي معتمدة بقوة على الاتجاه من الانفرادية التي توصف بسقوط الجسم.

وبالقرب جداً من الانفرادية، سيكون تشوه الزمان - المكان، أكثر عنفاً وفوضوية من المكان والزمان المحطمين فعلياً، ومقسماً في قطرات كبيرة. والمفاهيم مثل "قبل" و"بعد" تفقد الآن كل المعنى. وكذلك مفهوما "بعيد" و"اتجاه". فالضباب المنيع يغلق الرؤية الامامية. وانها تحجب المجال الغامض للنظرية الكمية، حيث لا يوجد نظرية حتى الآن تعمل كدليل لنا.

لكن التعمق في الضباب يضع الاجوبة لمعظم العلوم باسئلة مفروضة. من أين اتى الكون؟ وكيف تشكل قبل 13.7 مليار سنة؟ وماذا كان قبل ذلك؟

والامل الكبير هو أنه عندما ندير شبكة لنظريتنا الصغيرة جداً مع نظريتنا الكبيرة جداً، سنجد الاجوبة لهذه الأسئلة. عندئذ سنتواجه وجهاً لوجه مع السؤال النهائي: كيف تأتي بعض الأشياء من لا شيء؟ كتب جوستن غادر في عالم صوفي: "انه يكفي لتمسك قطعة في يدك. والكون سيكون غير مفهوم إذا تألف من قطعة واحدة بحجم البرتقالة. والسؤال الصعب هو: من أين أتت هذا القطعة؟"

## المصطلحات

**الصفر المطلق** أخفض درجة حرارة ممكن احرازها. فعندما يبرد الجسم، تتحرك ذراته بخمول أكثر وأكثر، وعند الصفر المطلق المساوي لـ  $-273.15$  درجة مئوية فإن الذرات تقف عن الحركة. (وفعلياً هذا ليس صحيحاً حسب مبدأ اللادقة لهايزنبرك حيث تنتج بقايا مذبذورة حتى عند الصفر المطلق).

**القرص التراكمي** قرص شبيه بمادة ملتفة تتشكل حول مصدر قوي للجاذبية مثل الثقب الأسود. وبعد أن تضعف الجاذبية مع المسافة من مصدرها، فالمادة في المدار الخارجي للقرص تدور بشكل أبطأ أكثر من المدار الداخلي. والاحتكاك يحدث بين المناطق بانقزال المادة بسرعات مختلفة وتسخين القرص إلى ملايين الدرجات. والنجوم الفلكية البعيدة تمتلك إضاءة ضخمة بتسخين حراري قوي للأقراص المحيطة "بالكتلة الضخمة" للثقوب السوداء.

**الفا ساتنوي** النجم الأقرب بنظامه إلى الشمس ويحتوي ثلاث نجوم بمسافة 4.3 سنة ضوئية.

**انحلال الفا** انشقاق جسيمة الفا ذات السرعات العالية إلى نوى غير مستقرة وكبيرة في محاولة لتحويلها لنواة مستقرة وخفيفة.

**جسيمة الفا** حالة مربوطة ببروتونين ونيوترونين - وبالاساس نواة الهليوم - والتي تقذف نواة غير مستقرة خلال انحلال الفا الاشعاعي.

**مبدأ الاعتدال** فكرة ان الكون هو الذي مهد ما لم نلاحظه هنا من قبل. وبكلمات أخرى، حقيقة وجودنا هي ملاحظة علمية هامة.

المادة المضادة مصطلح لتراكم كبير للجسيمات المضادة. والبروتون المضاد، والنيوترون المضاد، والبوزترون يمكن في الحقيقة أن تكون معاً ذرات مضادة. ولا يوجد هناك شيء من ناحية المبدأ يستثني النجوم المضادة، والكواكب المضادة، والحياة المضادة. وإحدى الغرائب الكبرى في الفيزياء هي لماذا نظهر في الحياة في كون مصنوع من المادة وحدها عندما نتوقع قوانين الفيزياء بخليط أكثر جمالاً 50/50 من المادة والمادة المضادة.

**الجسيمة المضادة** كل جسيمة داخل الذرة مشاركة بجسيمة مضادة بصفات مضادة، مثل الشحنة الكهربائية. والإلكترون المشحون سلباً يشارك بجسيمة مضادة مشحونة إيجابياً تعرف بالبوزترون. فعندما تلتقي الجسيمة والجسيمة المضادة تتدمران ذاتياً أو تهلكان في وميض من ضوء الطاقة العالية أو أشعة غاما.

**الذرة حجر البناء لكل المادة الاعتيادية.** والذرة تتألف من نواة تدور حولها غيمة من الإلكترونات. والشحنة الموجبة للنواة هي بالضبط موزونة بشحنة سالبة للإلكترونات. وقطر الذرة يساوي جزءاً من عشرة ملايين جزء من المليمتر.

**الطاقة الذرية** انظر الطاقة النووية ص 205.

**النواة الذرية** المجموعة المكونة التي تحتوي البروتونات والنيوترونات (بروتون واحد في حالة الهيدروجين) في مركز الذرة. والنواة تؤلف 99.9 % من كتلة الذرة.

**تشكل الكون** يُعتقد ان الكون ولد قبل 13.7 مليار سنة. ولم يكن هناك وجود من قبل، حيث حدث المكان والزمان والطاقة كلها بعد ذلك.

**نظرية تشكل الكون** فكرة ان الكون ابتدأ بكثافة عالية وحالة ساخنة جداً منذ 13.7 مليار سنة مضت وتمدد وبرد تدريجياً.

**السحق أو الانكماش الكبير** إذا كانت هناك مادة كافية في الكون، فجاذبيته ستوقف يوماً ما وتنعكس بتمدد الكون؛ فسينكمش ويسحق. وهو أحد أنواع صور تشكل الكون.



الجسم الأسود جسم يمتص كل الحرارة الساقطة عليه. والحرارة تتشارك بين الذرات بطريقة الامتصاص الحراري، فتعطي للجسم بقدر ما تأخذ منه، لكن ذلك يعتمد فقط على درجة حرارته وشكله السهل القابل للتمييز. والنجوم هي أجسام سوداء تقريباً.

الثقب الأسود الزمان - المكان المشوه الاجمالي الذي يترك عندما تسبب جاذبية الجسم الضخم الانكماش إلى نقطة. ولا شيء حتى الضوء يستطيع الهروب عند اسوداد الثقب الأسود. ويظهر الكون بأنه يحتوي على الأقل على نوعين مميزين من الثقوب السوداء، ثقوب سوداء بحجم هائل تتشكل حين لا تولد نجوم ضخمة حرارة داخلية لموازنة قوة الجاذبية المسببة لتصادمها والثقوب السوداء. ومعظم المجرات يبدو بأن مراكزها تحتوي على فجوات سوداء ضخمة. وتتراوح ما بين ملايين المرات لحجم كتلة الشمس في مجرتنا درب التبانة إلى مليارات الكتل الشمسية في النجوم البعيدة جداً.

تكاثف بوز- آينشتاين هو ظاهرة كل الجسيمات الدقيقة في الجسم المزدحمة فجأة في حالة مشابهة. والجسيمات يجب أن تكون بوزونات، ودرجة الحرارة يجب أن تكون عموماً منخفضة جداً. فذرات الهيليوم مثلاً، تزدحم تحت (-271) درجة مئوية متحولة إلى سائل الهيليوم في مائع محسن.

البوزون جسيمة دقيقة ذات دوران بعدد صحيح والتي تكون 0، 1، 2 وهكذا. وحسب دورانها، فجسيماتها هي اجتماعية جداً، ومشاركة في سلوك جماعي والذي يقود إلى الليزر والموائع المحسنة والموصلات الفائقة. قانون بويل الملاحظ أن حجم الغاز يتناسب عكسياً مع ضغطه، وبمضاعفة ضغطه يقسم الحجم إلى قسمين.

الحركة البراونية الحركة المذعورة العشوائية لجسم كبير تحت اطلاق مسدس لاجسام الصغيرة، فالمثال الأكثر شهرة هو مسار حبات الطلع المتعرجة خلال الماء. والظاهرة اكتشفها عالم النبات روبرت براون 1827، والشرح المنظر لآينشتاين عام 1905 كان دليلاً قوياً لوجود الذرات.

السببية الفكرة المسببة التي تسبق التأثير. والسببية هي أكثر المبادئ شهية في الفيزياء. على كل حال فالفعاليات الكمية مثل انحلال الذرات تظهر مؤثرة بدون سبب مسبق.

حد شاندراسيخار الكتلة الأكثر احتمالية للقرم الأبيض. تعتمد على التركيب الكيميائي للنجم، لكن القزم الأبيض مصنوع من الهيليوم بحوالي 44% أكبر من كتلة الشمس. وبالنسبة لنجم أكبر من ذلك، فضغط تحلل الإلكترون الداخلي يمنع الجاذبية من التصادم بنجم اضافي.

جهاز الشحنة المزدوجة (ج ش م) كشاف ضوء إلكتروني أكثر حساسية والذي يستطيع أن يلتقط أقرب إلى 100% من الضوء الذي يسقط عليه. فحيث ان الألواح البصرية تلتقط فقط 1% فإن (ج ش م) يسمح للتلسكوب أن يكون أفضل بمئة مرة من مساحة الضوء المجمعة.

الرابط الكيميائية "الصمغ" الذي يلصق الذرات معاً ليصنع جزيئات.

حدس الحماية الزمنية ان تقييد انتقال الزمن هو مستحيل. وحتى الآن لم يبرهن ذلك. وبالحقيقة، ان قوانين الفيزياء تبدو انها تسمح بانتقال الزمن، لكن الفيزيائيين مثل ستيفن هوكينغ مقتنعون أن غير المكتشف من قانون الطبيعة يمنع آلة الزمن.

الفيزياء الكلاسيكية الفيزياء غير الكمية. وبالحقيقة هي الفيزياء قبل 1900 عندما اقترح الفيزيائي الالماني ماكس بلانك أولاً ان الطاقة ربما تأتي في قطعة منفصلة، أو كمات. واينشتاين كان أول من أدرك أن هذه الفكرة غير متطابقة مع الفيزياء الكلاسيكية.

المنحنى المغلق شبيه الزمن (م م ش) منطقة الزمان - المكان المشوهة، وان دورات الزمن ترجع حول نفسها بنفس الطريقة عندما ترجع دائرة الفضاء حول نفسها في مسار رياضي. إن (م م ش) بلهجة مشتركة هي آلة الزمن. وتسمح قوانين الفيزياء الحديثة بوجودها.

المذنب جسم متلج صغير، طوله عدة كيلومترات ويدور في فلك نجم. ومعظم مدارات المذنبات حول الشمس خلف الكواكب الخارجية في غيمة ضخمة

تعرف بغيمة اورت. مثل الكواكب، فإن المذنبات هي بقايا بناء ترك فوق تشكيل الكواكب.

تأثير كمبتون هو ارتداد الاكترون عندما يتعرض إلى طاقة ضوئية فقط إذا شبه الإلكترون بكرة بليارد صغيرة تضرب كرة بليارد أخرى. وتأثيره هو توضيح بياني بأن الضوء يصنع من جسيمات أشبه برصاصات صغيرة أو الفوتونات.

الموصل مادة يجري فيها التيار الكهربائي.

قانون الحفظ قانون الفيزياء الذي يشرح الحقيقة بأنها كمية لا تتغير مطلقاً. فمثلاً حفظ الطاقة يثبت أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، وتتحول فقط من شكل لآخر. فمثلاً الطاقة الكيميائية للبترول تتحول إلى طاقة حركية للسيارة.

حفظ الطاقة مبدأ الطاقة الذي لا يفنى ولا يستحدث، فهي تتحول فقط من شكل لآخر.

زوج كوبر إلكترونان بدوران عسكي بحيث يزدوجان في بعض المعادن عند درجة حرارة منخفضة. إن أزواج كوبر غير مشابهة للإلكترونات الفردية، وهي بوزونات. ويمكن أن تزدحم في حالة مشابهة، وتتحرك معاً في خطوط مغلقة خلال معدن شبيه بنزاع غير مقاومة للحركة. والتيار الكهربائي في "الموصلية الفائقة" يمكن أن يستمر إلى الأبد.

مبدأ كوبرنيكي فكرة أنه لا يوجد شيء خاص حول مكاننا بالكون، اما زمان أو مكان. هذه رؤية عامة لمعرفة كوبرنيكوس بأن الأرض هي ليست في مكان خاص في مركز النظام الشمسي لكن هناك فقط كوكب آخر يدور حول الشمس.

إشعاع الخلفية الكونية "الشفق". ما يزال الأمر غير قابل للتصديق بأن الفضاء قبل 13.7 مليار سنة كان الشعاع المايكروي الفاتر ويساوي -270 درجة مئوية.

الأشعة الكونية نوى ذرية عالية السرعة، أغلبها بروتونات، من الفضاء. والطاقة المنخفضة تأتي من الشمس، والطاقات العالية تأتي من النجم المستعر الضياء. ان اصل الأشعة الكونية ذات الطاقة العالية جداً والجسيمات ذات الطاقة الأكبر بملايين المرات من الطاقة المنتجة حالياً على الأرض هو أحد الألغاز الكبرى غير المحلولة لعلم الفلك.

علم الفلك العلم النهائي. وهو العلم الذي موضوع المادة والتطور وقدر الكون الكلي هو الاصل.

النظام الكوني كلمة أخرى للكون ص 212.

الطاقة الداكنة "مادة" لغزية بجاذبية تنافرية. اكتشفت بشكل غير متوقع عام 1998، وهي غير مرئية، تملأ كل المكان وتبدو بأنها تدفع جزءاً من المجرات وتسرع تمدد الكون. ولا أحد يعرف ماهيتها.

المادة الداكنة المادة في الكون التي لا تعطي ضوءاً. ويعرف الفلكيون انها موجودة بسبب جاذبية التركيبية غير المرئية والمنحنية لمسارات النجوم المرئية والمجرات التي تطير عبر الفضاء. وهناك ما بين 6 إلى 7 مرات أكثر من المادة الداكنة في الكون بشكل طبيعي، كمادة باعثة للضوء. وتعريف المادة الداكنة هو مسألة بارزة في علم الفلك.

التشتت عبارة عن تقنية تدمير الطبيعة الكمية الغريبة للجسم، وكأنها تكون في أماكن عديدة وفي آن واحد. والتشتت يحدث عندما "يعرف" العالم الخارجي شيئاً ما عن الجسم. ان المعرفة ربما تأخذ مسار الفوتون المفرد للضوء أو جزيئة هواء تقفز من الجسم. وبما أن الأجسام الكبيرة مثل الطاولة يلتصق فيها الفوتون وجزيئات الهواء ولا تستطيع البقاء معزولة عن محيطها لفترة طويلة، فإنها تفقد قابليتها لتكون في أماكن عديدة وفي وقت واحد وفي زمن قصير؛ بحيث لا يمكن ملاحظته لقصر زمنه.

ضغط التحلل النحلة في صندوق أشبه بضغط ممارس بالإلكترونات المضغوطة في حجم صغير من الفضاء. وكنتيجة لمبدأ اللادقة لهايزنبرك

فإنه يبرز بسبب جسيمة دقيقة تكون في مكان محدد ومعروفة بسرعتها العالية غير الدقيقة. وضغط التحلل للإلكترونات يمنع الاقزام البيضاء من الانكماش تحت جاذبيتها، بينما ضغط التحلل للنيوترون له نفس الشيء لنجوم النيوترون.

الكثافة كتلة جسم ما مقسومة على حجمه. والهواء له كثافة منخفضة، والحديد له كثافة عالية.

البعد اتجاه مستقل في الزمان - المكان. والعالم من حولنا له ثلاثة ابعاد مكانية (يمين - يسار، أمام - خلف، أعلى - أسفل) وبعد واحد للزمن (المستقبل - الماضي). ونظرية الوتر الفائق تتطلب ان يكون للكون ستة ابعاد مكانية إضافية. وتختلف بشكل جذري عند الابعاد الأخرى لأنها تلتف بشكل صغير جداً.

تجربة الشق المزدوج تجربة الجسيمات التي تقترب من شاشة فيها شقان متوازيان قريبان من بعضهما. وعلى الجانب البعيد للشاشة، تختلط الجسيمات أو "تتداخل" مع بعضها البعض لتنتج "نموذج تداخل" متميز على الشاشة الثانية. والشيء المذهل ان النموذج يتشكل حتى عندما تقذف الجسيمات على الشقين في زمن واحد، مع نجوم كبيرة فيما بينها. وبكلمات أخرى، عندما لا يوجد هناك احتمال لاختلاطها مع بعضها البعض، فالنتيجة سماها ريتشارد فينمان: إضاءة "اللغز المركزي" للنظرية الكمية.

الشحنة الكهربائية صفة الجسيمات المجهرية والتي تكون في نوعين، موجبة وسالبة. والإلكترونات تحمل شحنة سالبة، والبروتونات لها شحنة موجبة. والجسيمات التي لها نفس الشحنة تتنافر. بينما الجسيمات المختلفة تتجاذب فيها الشحنات.

التيار الكهربائي سيل من الجسيمات المشحونة، وعادة ما تكون الإلكترونات والتي تجري خلال موصل.

المجال الكهربائي مجال القوة التي تحيط بالشحنة الكهربائية.

القوة الكهرومغناطيسية إحدى أربع قوى أساسية في الطبيعة. وهي المسؤولة عن صمغ كل المادة العادية بما فيها الذرات في أجسامنا والذرات في الصخور أسفل أقدامنا.

الموجة الكهرومغناطيسية الموجة التي تتألف من مجال كهربائي تنمو وتموت بشكل دوري ومتناوب مع مجال مغناطيسي ينمو ويموت بشكل دوري أيضاً. فالموجة الكهرومغناطيسية تتولد بشحنة كهربائية متذبذبة وتنتقل عبر المكان بسرعة الضوء.

الإلكترون جسيمة داخل الذرة مشحونة بشحنة سالبة، وموجودة بفلك النواة في الذرة. وابتعد ما نُخبر عنه، فإنه جسيمة أساسية، لا يمكن أن تقسم.

العنصر المادة التي لا يمكن أن تختزل إلى شيء أصغر بوسائل كيميائية. كل الذرات للعنصر المعطى تملك نفس العدد من البروتونات في نواها. مثلاً ان ذرة الهيدروجين لها بروتون واحد، وذرة الكلور لها 17 وهكذا...

الطاقة هي الكمية التي يستحيل تقريباً تعريفها! الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، بل تتحول فقط من شكل إلى آخر. ومن بين الوسائل المألوفة العديدة هناك طاقة الحرارة، وطاقة الحركة، والطاقة الكهربائية، وطاقة الصوت.

التشابه تشابه اثنين أو أكثر من الجسيمات الكهرومغناطيسية لذا فإنها تفقد فرديتها وبوسائل عديدة تكون كمية فردية.

حادثة الأفق الطريقة الوحيدة "الغشاء" المحيطة بالثقب الأسود. فاي شيء يسقط - مادة أو ضوء - لا يمكن أن يخرج مرة أخرى.

المادة الغريبة مادة افتراضية بجاذبية تنافرية.

الكون الممتد هروب المجرات من بعضها البعض نتيجة لتشكل الكون.

الفرميون جسيمة مجهرية بدوران (برم) نصف عدد صحيح مثل  $\frac{1}{2}$ ،  $\frac{3}{2}$ ،  $\frac{5}{2}$  وهكذا... وصفة دورانها ان الجسيمات تجذب بعضها البعض. وسلوكها غير الاجتماعي هو السبب الذي يجعل الذرات الموجودة والأرضية أسفل أقدامنا صلبة.

سحب الاطار السحب حول الزمان - المكان بجسم دوران ضخم. والتأثير صغير جداً قابل للقياس في فراغ الأرض لكنه ضخم قرب الثقب الأسود ذي الدوران السريع. فالثقب الأسود يسقط النور على العين بالتفاف الزمان - المكان.

القوة الأساسية إحدى القوى الأساسية الأربع والتي يعتقد انها تقع تحت تأثير كل الظواهر. القوى الأربع هي قوة الجاذبية، والقوة الكهرومغناطيسية، والقوة القوية والقوة الضعيفة. والشك القوي لدى الفيزيائيين هو بأن تلك القوى مجرد اوجه لقوة فائقة مفردة. وبالحقيقة أثبتت التجارب مسبقاً ان القوى الضعيفة والكهرومغناطيسية لها جوانب مختلفة لنفس العملة.

الجسيمة الأساسية إحدى أحجار المبنى الأساسي لكل المادة. وحالياً يعتقد الفيزيائيون ان هناك ستة كواركات مختلفة وستة لبتونات مختلفة مكونة معاً 12 جسيمة أساسية. والامل ان الكوارك يوجد باوجه مختلفة للبتونات.

الاندماج انظر الاندماج النووي ص 205.

المجرة أحد أحجار مبنى الكون، والمجرات هي جزر عظيمة للنجوم. جزيرتنا هي درب اللبنة وهي حلزونية الشكل وتحتوي حوالى 200,000 مليون نجم.

الغاز مجموعة ذرات تطير خلال المكان أشبه بعاصفة من النحل الناعم.

النظرية النسبية العامة نظرية اينشتاين للجاذبية، وتبين ان الجاذبية لا شيء أكثر من اعوجاج الزمان - المكان. النظرية تشارك بافكار عدة غير مشاركة بنظرية نيوتن للجاذبية. احداها لم تكن شيئاً بخصوص الجاذبية المنقلة أسرع من الضوء. والأخرى هي شكل من أشكال الطاقة لها كتلة كمصدر للجاذبية. وبين كل ذلك، تتوقع النظرية بالثقوب السوداء والكون المتمدد وتلك الجاذبية التي تلوي مسار الزمان - المكان.

الجيوديسي أقصر خط بين نقطتين في فضاء منحنٍ أو معوج.

قوة الجاذبية الاضعف بين القوى الأساسية في الطبيعة. والجاذبية تقريباً وضعت بقانون نيوتن للجاذبية ووصفت بشكل أكثر دقة بنظرية الجاذبية لاينشتاين؛ أي النظرية النسبية العامة. والنسبية العامة تحطمت في الانفردية في قلب الثقب الأسود، والانفرادية في مولد الكون. والفيزيائيون يبحثون عن وصف احسن للجاذبية. لقبت النظرية سابقاً بالجاذبية الكمية، وسوف تشرح بدلالة تبادل الجسيمات المسماة الغرافيتون.

التواء جاذبية الضوء التواء مسار الضوء الذي يمر بالجسم الضخم، والسبب ان المكان في جوار الجسم المشوه أشبه بالوادي، والضوء ليس لديه خيار للانتقال عبر مسار منحني.

الازاحة الحمراء للجاذبية فقدان طاقة الضوء المتسلق عبر الوادي في الزمان - المكان حول جسم سماوي ضخم. فحيث ان "لون" الضوء متعلق بطاقته، فالضوء الأحمر يملك طاقة أقل من الضوء الأزرق، ويتحدث الفلكيون عن الضوء لأنه مزاح إلى النهاية الحمراء اللطيف أو "الازاحة الحمراء".

الموجة الجاذبية موجة منتشرة خلال الزمان - المكان. والأمواج الجاذبية تتولد بحركات بنفسجية للكتلة مثل اندماج الثقوب السوداء. ولكونها ضعيفة، فلا يمكن أن تكشف مباشرة لحد الآن.

الجاذبية انظر قوة الجاذبية ص 199.

نصف العمر الزمن الذي يأخذ نصف النوى في عينة اشعاعية لتتفكك. بعد نصف عمر واحد، نصف الذرات سوف تترك. وبعد نصف عمر ثانٍ، ربعها سيترك. وبعد ثلاثة انصاف عمر فإن ثمنها سيترك وهكذا... وانصاف العمر قد تكون من مجرد ثانية إلى مليارات السنين.

مبدأ اللادقة لهايزنبرك مبدأ النظرية الكمية. يذكر فيه ان الأزواج الكمية مثل موضع الجسيمات وسرعاتها لا يمكن أن تعرف في آن واحد بالدقة المطلقة. مبدأ اللادقة يضع حداً على الكيفية الجيدة لانتاج هذه الأزواج كما هو معروف. وعملياً يعني إذا كانت سرعة الجسيمة معروفة بدقة، فإنه من المستحيل معرفة أين تكون الجسيمة؛ وبالعكس. إذا عُرِف الموضع بدقة،



فسرعة الجسيمة غير معروفة. وبتحديد ماذا نستطيع ان نعرف، يفرض مبدأ اللادقة لهايزنبرك "تقريباً" على الطبيعة. وإذا نظرنا عن قرب، فكل شيء ضبابي أشبه بصورة جريدة تذوب في نقطة لا معنى لها.

الهيليوم ثاني أخف عنصر في الطبيعة، والوحيد الذي اكتشف على الشمس قبل اكتشافه على الأرض. الهيليوم هو ثاني عنصر مشترك في الكون بعد الهيدروجين ويقارب 10% من كل الذرات.

الأفق الكون له افق أشبه بالأفق المحيط بسفينة في بحر. والسبب لافق الكون ان الضوء له سرعة محددة، والكون له وجود لزمان محدد. وهذا يعني اننا نستطيع فقط ان نرى الأجسام التي يكون لدى ضوئها الزمن ليصلنا منذ تشكل الكون. والكون هو أشبه بقفاعة متركزة في الأرض، اما الأفق فهو سطح القفاعة وكل يوم يكبر الكون (بيوم واحد)، يتمدد الأفق للخارج واشياء جديدة تصبح مرئية، مثل السفن التي تأتي فوق الأفق في البحر.

مسألة الأفق مسألة ان الاجزاء المترامية الاطراف للكون والتي لا تكون على اتصال مع بعضها، حتى مع بدء نشأة الكون، لديها صفات متماثلة مثل الكثافة ودرجة الحرارة. وتقنياً هي موجودة دائماً خلف كل افق. ان نظرية الأفق تزودنا بطريقة تكون فيها الأفق على اتصال مع بدء نشأة الكون، وبذلك تستطيع ان تحل مسألة الأفق.

الهيدروجين العنصر الاخف بالطبيعة. تتألف ذرة الهيدروجين من بروتون واحد يدور حوله إلكترون واحد. وما يقارب 90% من كل الذرات في الكون هي ذرات هيدروجين.

حرق الهيدروجين اندماج الهيدوجين في الهيليوم وبترافق ذلك مع تحرير كميات كبيرة من رابطة الطاقة النووية. وهو مصدر طاقة الشمس ومعظم النجوم.

التوازن الهيدروستاتيكي إن الحالة التي تحاول فيها قوة الجاذبية أن تصدم نجماً ما هي متوازنة بشكل تام على قوة غازها الساخن المدفوع للخارج.

القصور الذاتي ميل الجسم الضخم عندما يكون في حركة للمحافظة على حركته، بسرعة ثابتة وبخط مباشر في مكان غير متعرج وعلى طول الخط الواصل بين نقطتين في مكان مشوه. ولا أحد يعرف اصل الزخم.

عزم القصور الذاتي قوة تمنعنا من شرح حركة فعلية بدون سبب غير القصور الذاتي. مثل القوة الطاردة المركزية. فلا توجد قوة ترمينا للخارج عندما نكون داخل سيارة تدور حول ركن حاد. فنحن نواصل الحركة في خط مباشر بسبب قصورنا الذاتي، وداخل السيارة بسبب حركتها على مسار منحني يعترضنا.

نظرية التضخم فكرة أن أول ثانية من تشكّل الكون مرت بتمدد سريع هائل. وجرى التضخم إثر ذلك وهو يشبه بانفجار قنبلة هيدروجينية، فالتضخم استطاع حل بعض المسائل مع نظرية تشكّل الكون مثل مسألة الأفق.

تحت الحمراء نوع من الضوء غير المرئي الذي يغطي بأجسام داكنة. التداخل قدرة موجتين على المرور خلال بعضهما بعضاً لتندمجا، ويقوى عندما تتطابق ارتفاعاتهما، ويلغى عندما ينطبق ارتفاع احدهما مع منخفض الأخرى.

نموذج التداخل نموذج الخطوط المضئية والمظلمة التي تظهر على الشاشة المضاءة بالضوء من مصدرين. وسبب النموذج هو ان الضوء قادم من مصدرين مقويين في بعض الأماكن على الشاشة ومُلغى في أماكن أخرى. وسط بين النجوم الغاز الضعيف والغبار العائم بين النجوم. فقرب الشمس، يشمل هذا الغاز ذرة هيدروجين واحدة في كل 3 سم<sup>3</sup>، مكوناً فراغاً بعيداً من أي شيء قابل لانجازه على الأرض.

فراغ بين النجوم الفراغ بين النجوم.

الأيون ذرة أو جزيئة فقدت واحداً أو أكثر من إلكترونات المدار، ولذا فإن لها شحنة كهربائية موجبة صافية.

النظير شكل محتمل للعنصر. والنظائر مميزة بكتلتها المختلفة. فمثلاً الكلور يكون في نظيرين مستقرين بكتلة 35 و37. والكتلة المختلفة هي بسبب اختلاف عدد النيوترونات في نوياتها. فمثلاً الكلور-35 يحتوي على 18 نيوتروناً والكلور-37 يحتوي على 20 نيوتروناً (وكلاهما يحوي نفس العدد من البروتونات 17، لتعيين هوية العنصر).

ال جول وحدة علمية قياسية للطاقة. وطاقة الحركة لكرة سلة قُذفت هي حوالى 10 جول، والطاقة الكيميائية للتفريغ الضوئي هي حوالى 10 مليارات جول.

نقطة لامبدا درجة حرارة التي يبدأ عندها سائل الهيليوم بالتحول إلى مائع فائق.

الليزر مصدر ضوء لطبيعة اجتماعية للفوتونات. والبوزونات تأتي في المقدمة. خصوصاً ان الفوتونات المجردة تمر خلال المادة الأكثر احتمالية من الليزرزات الأخرى التي تشع بنفس الصفات. والنتيجة هي انهيار الفوتونات التي تنتقل بخطوة مغلقة.

ثبوتية الضوء الميزة في كوننا هي ان سرعة الضوء في الفراغ هي دائماً نفسها، بغض النظر عن سرعة مصدر الضوء أو عمن يراقب الضوء. هذا هو أحد ركني النظرية النسبية الخاصة لاينشتاين، أما الآخر فهو كونها النسبية العامة.

سرعة الضوء حدود السرعة الكونية 300,000 كم/ثانية.

التواء الضوء انظر التواء جاذبية الضوء ص 199.

السنة الضوئية وحدة قياس المسافات في الكون. وهي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة بالفراغ، ووجد انها تساوي 9.46 تريليون كيلو متر.

انقباض لورنتز انكماش الجسم المتحرك نسبة "للمراقب". فالمراقب يرى الجسم ينكمش في اتجاه حركته. وتأثيره ملاحظ فقط عندما يتحرك الجسم بالقرب من سرعة الضوء نسبة للمراقب.

اللمعان الكمية الكلية للضوء المضخ في الفضاء في كل ثانية من قبل جسم سماوي مثل النجم.

المجال المغناطيسي مجال القوة التي تحيط بالمغناطيس.

عوالم متعددة هي فكرة أن النظرية الكمية تصف كل شيء، وليس مجرد العالم المجهرى للذرات وتركيباتها. فالنظرية الكمية تسمح للذرة ان تكون في مكانين في آن واحد، وهذا يعني ان الطاولة تستطيع ان تكون في مكانين في آن واحد. وطبقاً لفكرة عوالم متعددة، فعقل الشخص الذي يرى الطاولة منقسم إلى قسمين؛ جزء يرى الطاولة موجودة في مكان واحد والآخر يراها في مكان آخر. فالعقلان موجودان في واقعين أو كونين منفصلين.

الكتلة مقياس لكمية المادة في الجسم. والكتلة هي معظمها شكل الطاقة المركز، فالغرام الواحد يحتوي على نفس المقدار من الطاقة الموجودة في 100,000 طن من الديناميت.

معادلات ماكسويل للكهرومغناطيسية هي حفنة معادلات انيقة، كتبها جيمس كليرك ماكسويل عام 1868، وتلخص بعناية كل الظواهر الكهربائية والمغناطيسية. والمعادلات تظهر ان الضوء عبارة عن موجة كهرومغناطيسية.

درب اللبنة مجرتنا.

الجزئية مجموعة ذرات ملتصقة معاً بقوى كهرومغناطيسية. فذرة واحدة كالكربون تربط نفسها وذرات أخرى لصنع عدد ضخم من الجزيئات. ولهذا السبب، قسم الكيميائيون الجزيئات إلى: "عضوية" مستتدة إلى الكربون، و"غير العضوية" ما تبقى.

العزم عزم الجسم هو مقياس لكم الجهود المطلوبة لإيقافه. فمثلاً، حاوية زيت بالرغم من انها تسير بضعة كيلومترات بالساعة، فمن الصعب جداً إيقافها أكثر من إيقاف سيارات سباق فورميلا 1 التي تسير بسرعة 200 كم/ساعة. فحاوية الزيت يقال ان لها عزمًا أكبر.

حفظ الزخم مبدأ الزخم الذي لا يفنى ولا يستحدث.

متعدد الاكوان افتراضية مكبرة للاكوان حيث ان كوننا يوجد ليكون بين عدد ضخم من الاكوان المفصولة والمنقطعة. فمعظم الاكوان تموت وهذا غير مهم. فقط الاكوان الصغيرة تؤدي عمل قوانين الفيزياء لتدعم انبثاق النجوم والكواكب والحياة.

الميون جسيمة داخل الذرة قصيرة الحياة تسلك سلوك نسخة ثقيلة للإلكترون. نيوترينو جسيمة داخل الذرة متعادلة مع كتلة صغيرة جداً تتنقل بالقرب جداً من سرعة الضوء. فالنيوترينوات تتفاعل بصعوبة مع المادة. فعلى كل حال، عندما يوجد عدد كبير من النيوترينوات، تستطيع ان توجد نجماً كبيراً كجزء من نجم متفجر كبير.

النيوترون أحد حجري المبنى الأساسي للنواة الذرية في مركز الذرات. فالنيوترونات لها بالأساس نفس كتلة البروتونات لكن ليس لها شحنة. ولذا فإنها غير مستقرة خارج النواة وتتحلل بحدود 10 دقائق.

نجم نيوترون نجم ينكمش تحت تأثير جاذبيته بحيث إن معظم مادته ضغطت في نيوترونات. ونموذجياً هو نجم بمقطع عرضي 20 إلى 30 كيلومتراً. فمكعب السكر بتركيب نجم نيوترون يزن أكثر من الجنس البشري بأكمله.

قانون الجاذبية الكوني لنيوتن ان فكرة ان كل الأجسام تسحب بعضها عبر الفضاء بقوة تعتمد على انتاج كتلتها الانفرادية وعكس مربع المسافة بينها. وبكلمات أخرى، إذا تضاعفت المسافة بين الأجسام، فالقوة تصبح أضعف أربع مرات، وإذا تضاعفت المسافة ثلاث مرات، فستكون القوة أضعف بتسع مرات وهكذا... فقانون نيوتن للجاذبية جيد للتطبيقات اليومية لتكون مقربة. وحسن أينشتاين ذلك في النظرية النسبية العامة.

اللاموضعية القابلية المخيفة للأهداف الخاضعة للنظرية الكمية لتستمر "لتعرف" حول كل حالة حتى عندما تفصل بمسافات كبيرة.

الطاقة النووية الطاقة الزائدة التي تطلق عندما تتغير نواة ذرية واحدة إلى نواة ذرية أخرى.

الاندماج النووي ترابط نواتين خفيفتين لصنع نواة ثقيلة. وهو عبارة عن عملية تنتج في تحرير طاقة ربط نووية. فمعظم عملية الاندماج يكون بالتصاق نوى الهيدروجين لتكوين الهيليوم في قلب الشمس لانتاج ضوء الشمس.

التفاعل النووي اية عملية تحول نوعاً واحداً للنواة الذرية إلى نوع آخر من النواة الذرية.

النوية المصطلح المستعمل للبروتونات والنيوترونات؛ وهما حجرا الأساس للنواة الذرية.

النواة انظر النواة الذرية ص 192.

معدل الجسيمات ماكينة عملاقة، غالباً ما تكون بشكل مسار السباق الدائري، بحيث تتعجل الجسيمات داخل الذرة بسرعات عالية وتتصادم مع بعضها. ففي مثل هذا التصادم فإن طاقة الحركة للجسيمات تصبح متوفرة لإيجاد جسيمات جديدة.

فيزياء الجسيمات هو المسعى لاكتشاف أحجار المبنى الأساسي والقوى الأساسية للطبيعة.

مبدأ الاستثناء لباولي منع جسيمين اثنين مجهريين (فرميونات) من المشاركة بنفس الحالة الكمومية. مبدأ الاستثناء يوقف الإلكترونات وهي الفرميونات من ان يتراكم بعضها فوق البعض الآخر. وبالنتيجة يشرح وجود ذرات مختلفة وتنوع العالم حولنا.

الخلية الضوئية جهاز جسيمة لاستكشاف التأثير الكهروضوئي. والقطع للتيار الكهربائي عندما يكسر الجسيم شعاع الضوء الساقط على المعدن يستعمل للسيطرة على بعض الأشياء. كمثال، الباب الآلي في مدخل مركز التسوق. التأثير الكهروضوئي طرد الإلكترونات من سطح المعدن بالفوتونات الضاربة للمعدن.

الفوتون جسيمة ضوئية.

قوانين الفيزياء القوانين الأساسية التي تتسق سلوك الكون.

طاقة بلانك الطاقة العالية عندما تصبح الجاذبية قابلة للمقارنة بقوة مع القوى الأساسية الأخرى في الطبيعة.

طول بلانك مقياس طول رقيق رائع عندما تصبح قوة الجاذبية من الممكن مقارنتها مع قوى أساسية أخرى في الطبيعة. ان طول بلانك هو تريليون تريليون مرة أصغر من الذرة. ويوافق طاقة بلانك. فالمسافات الصغيرة تترادف الطاقات العالية بسبب الموجة الطبيعية للمادة.

بلازما غاز مشحون كهربائياً من الأيونات والإلكترونات.

البوزترون جسيم مضاد للإلكترون.

دقة الحضيض لعطارد حقيقة ان مدار عطارد، الكوكب الأقرب للشمس، لا يتبع مدار قطع ناقص بشكل مباشر لكن نوعاً ما مدار قطع ناقص باقرب نقطة للشمس تتحرك تدريجياً حول الشمس، فينتج في سباق كوكب أشبه بنموذج الورد. والشرح هو ان جاذبية الشمس تضعف مع مسافة البعد عن الشمس وتكون أكثر بطناً من حالة جاذبية نيوتن، والتي وحدها تتوقع المدار الاهليلجي. انها تضعف أكثر بطناً حسب صورة اينشتاين، والجاذبية نفسها هي مصدر أكبر للجاذبية.

مبدأ التكافؤ فكرة ان الجاذبية والتعجيل هما غير قابلين للتمييز.

البروتون أحد ججري البناء في النواة. والبروتون يحمل شحنة كهربائية موجبة مساوية ومعاكسة للإلكترون.

النجم المشع نجم نيوترون يدور بسرعة ويمسح حزمة مكثفة من الأمواج الراديوية حول السماء الشبيهة بالفنار.

ك ح ك انظر الكهروحركية الكمية ص 207.

الكم أصغر قطعة يمكن أن ينقسم إليها الشيء. والفوتونات كمثال هي كمات من المجال الكهرومغناطيسي.

الحاسوب الكمي آلة تستكشف حقيقة الانظمة الكمية مثل الذرات التي تستطيع ان

تكون بحالات مختلفة في وقت واحد لتحمل حسابات عديدة في آن واحد. فأحسن حاسوب كمي يعالج فقط حفنة من الأرقام الثنائية أو الوحدات، لكن في مبدأ الحواسيب يمكن أن تكون حواسيب ملائمة متفوقة الحجم.

الكهروحرارية الكمية نظرية حول كيفية تفاعل الضوء مع المادة. والنظرية تشرح كل شيء حول عالم اليوم كتفسير سبب صلابة الأرض تحت قدميك، وكيفية عمل الليزر، ومن كيمياء الأيض إلى عمليات الحاسوب.

عدم قابلية التمييز الكمية عدم القابلية للتمييز بين حدثين كميين. وربما يكونان غير قابلين للتمييز كمثال احتوائهما على جسيمات متماثلة أو ببساطة بسبب الأحداث غير الملاحظة. فالشيء الحاسم هو احتمالية الأمواج المشاركة بتداخل أحداث غير قابلة للتمييز. وهذا وما يقود إلى سلوك الظواهر الكمية.

العدد الكمي العدد الذي يحدد الصفة المجهرية التي تأتي بقطع كدوران أو طاقة مدارية للإلكترون.

الاحتمالية الكمية الفرصة أو الاحتمالية أو الحدث المجهرية. وعلى الرغم من أن الطبيعة تمنعنا من معرفة الأشياء بدقة، فلا يهم أن كان يسمح لنا بمعرفة الاحتماليات بدقة.

التراكب الكمي وضعية الهدف الكمي للذرة في أكثر من حالة واحدة في زمن محدد. وربما تكون في أماكن مختلفة في آن واحد. إنه التفاعل أو "التداخل" بين الحالات الانفرادية في التراكب الذي هو أساس الغرابة الكمية. والتشتت يمنع مثل هذا التفاعل ولذلك يدمر السلوك الكمي.

النظرية الكمية أساساً نظرية عالم الذرات المجهرية ومركباتها. والتي تفسر العوالم المتعددة وتصف عالم المقياس الكبير.

النفق الكمي القابلية الاعجوبة للجسيمات المجهرية لتفر من سجونها. مثلاً جسيمة ألفا التي تستطيع أن تدخل نفقاً خلال حاجز داخل النواة، والمكافئ للقفز العالي لجدار بارتفاع أربعة أمتار. والنفق هو نتيجة أخرى لصفة شبه موجة للجسيمات المجهرية.



عدم قابلية التوقع الكمية عدم قابلية التوقع للجسيمات المجهرية. سلوكها هو غير قابل لتوقعه حتى في المبدأ. على العكس من عدم قابلية التوقع بقذف العملة. انها غير قابلة للتوقع فقط عملياً. من ناحية المبدأ، إذا عرفنا شكل العملة والقوة الممارسة عليها والهواء الذي يجري حولها وغير ذلك نستطيع توقع النتيجة.

الفراغ الكمي الصورة الكمية للفضاء الفارغ. وبعيداً عن الفراغ تتهيج بجسيمات مجهرية ذات حياة قصيرة والتي تسمح لمبدأ اللادقة لهايزنبرك بلمح وجودها وغيابها.

النجم الفلكي البعيد المجرة التي تتقاد معظم طاقتها من المادة المسخنة إلى ملايين الدرجات كدوامة في ثقب اسود عملاق مركزي. فالنجم الفلكي البعيد يولد ضوءاً أكبر من مائة مجرة عادية من الحجم الاصغر من النظام الشمسي، مكوناً الأهداف الأكثر قدرة في الكون.

القطعة الكمية القطعة الكمية أو الرقم الثنائي. بينما تقدم القطعة العادية رقم 0 أو 1، فالقطعة الكمية توجد تراكباً فائقاً للحالتين 0 و 1 في آن واحد. لأن خيوط القطع الكمية تعبر عنها بعدد كبير من الارقام الآتية، يمكن استعمالها لعمل رقم كبير من الحسابات في آن واحد.

التحلل الاشعاعي الانحلال للنوى الذرية الفعلية غير المستقرة في نوى ذرية أخف وأكثر استقراراً. فالعملية تترافق مع انبعاث جسيمات الفا أو بيتا أو اشعة جاما.

الاشعاعية صفة الذرات الخاضعة للتحلل الاشعاعي.

الراديوام عنصر مشع غير مستقل بشكل عالٍ اكتشفته ماري كوري عام 1898.

النظرية النسبية العامة تعميم اينشتاين لنظريته الخاصة. والنسبية العامة تتعلق بشخص يرى شخصاً آخر يتعجل نسبة له. ولأن التعجيل والجاذبية غير قابلين للتمييز، فمبدأ التكافؤ، والنسبية العامة هما كذلك نظرية الجاذبية.

مبدأ النسبية الملاحظ ان كل قوانين الفيزياء هي نفسها بالنسبة للمراقبين المتحركين في سرعات ثابتة نسبة للبعض الآخر.

النظرية النسبية الخاصة نظرية اينشتاين المتعلقة بشخص يرى شخصاً آخر يتحرك بسرعة ثابتة نسبة له. وتظهر من بين الأشياء الأخرى، بأن حركة الشخص تنكمش في اتجاه حركة أشخاص آخرين بينما زمنهم يتباطأ، والتأثيرات تصبح أكثر ملاحظة كلما يقتربون من سرعة الضوء.

مجهر الفحص النفقي (م ف ن) جهاز يتحرك بإبرة دقيقة جداً عبر السطح للمادة وتتحول إلى حركة فوق-تحت في صورة المشهد الذري للسطح. معادلة شرودينغر معادلة تجمع الطريق لموجة الاحتمالية أو الدالة الموجية واصفة جسيمة تتغير مع الزمن.

التوافق فكرة أن الأحداث التي تظهر لتحدث في الوقت نفسه لشخص واحد تظهر لتحدث في نفس الوقت لكل شخص في الكون. النسبية الخاصة تبين ان هذه الفكرة خطأ.

الانفرادية موضع يتمزق فيه الزمان - المكان ولا يستطيع فهم النظرية الجاذبية لاينشتاين، النظرية النسبية العامة. فكانت هناك الانفرادية، نقطة حيث الكميات مثل درجة الحرارة ترتفع إلى ما لانهاية في بداية الكون، وهناك كذلك في مركز كل ثقب اسود.

النظام الشمسي الشمس وما يحيط بها من الكواكب والاقمار والمذنبات وفقاعات متنوعة أخرى.

الزمان - المكان في النظرية النسبية العامة الزمان والمكان يُريا اساساً بنفس الطريقة. لذلك يعاملان ككمية مفردة زمان - مكان. انه تشويه للزمان-المكان ليكون الجاذبية.

الخط الطيفي الذرات والجزيئات تمتص وتعطي ضوءاً بطوال موجية مميزة. فإذا ابتلع ضوء أكبر مما ينبعث، فالنتيجة خط غامق في الطيف للهدف السماوي. وبالعكس، إذا اشع أكثر مما ابتلع، فالنتيجة خط مضيء.

الطيف فصل الضوء إلى مركباته (الوان قوس قزح).

الدوران كمية ليس لها نظير يومي، وبحديث فضفاض، الجسيمات داخل الذرة ذات برم سلوكها كارتفاعات برم صغيرة (فقط لا تبرم على الإطلاق!).

النجم كرة عملاقة من الغاز تعيد ملء الحرارة التي تفقدها في الفضاء بوسائل الطاقة النووية المتولدة في قلبها.

نظرية الوتر أو الأوتار انظر نظرية الوتر الفائق ص 211.

القوة النووية القوية قوة المدى القصير التي تمسك البروتونات والنيوترونات معاً في نواة ذرية.

جسيمة داخل الذرة جسيمة أصغر من الذرة مثل الإلكترون والنيوترون.

الشمس النجم الاقرب.

الموصل الفائق إن مادة ما عندما تبرد لدرجة حرارة منخفضة فإنها توصل تياراً كهربائياً للابد بدون مقاومة. هذه القابلية مرتبطة بتغير الجسيمات الموصلة من الفرميونات إلى البوزونات. وخصوصاً ان ازواج الإلكترونات (الفرميونات) تشكل ازواج كوبر (البوزونات).

المائع الفائق مائع تحت درجة حرارة حرجية يطور صفات غريبة مثل القدرة على الجريان للأعلى ويتجمد خلال فجوات صغيرة مستحيلة. فافضل مثال هو سائل الهيليوم، حيث يصبح مائعاً فائق الميوعة تحت 2.17 درجة فوق الصفر المطلق. المائع المطلق له غرابته بالنظرية الكمية، وحقيقة أن ذرات الهيليوم هي البوزونات.

النجم المستسعر ضياءً انفجار كارثي لنجم ضخم. فالنجم المستسعر ضياءً - لوقت قصير - يتحول في كل المجرة لمائة مليار نجم عادي. ويترك خلفه نجم نيوترون عالي الضغط.

نظرية الوتر الفائق تفترض ان المكونات الأساسية للكون هي اوتار رقيقة للمادة. فالأوتار تتذبذب في الزمان - المكان بعشرة ابعاد. فالدفع الكبير لهذه الفكرة هو أنها ربما لديها القدرة لتكون وحدة أو "توحد" النظرية الكمية والنظرية النسبية العامة.

تأشبون جسيمة افتراضية تعيش حياتها دائماً متنقلة أسرع من الضوء.  
الرواق البعيد الاستعمال الذكي للتضخم ليثبت (يرسخ) الحالة الدقيقة لجسيمة  
مجهرية في عنف ظاهر لما هو مسموح بمبدأ اللادقة لهايزنبرك. هذا  
يمكن المعلومة الضرورية لاعادة تركيب حالة الجسيمة لوضع ذاتي.  
درجة الحرارة درجة تسخين الجسم. متعلقة بطاقة حركة الجسيمات المؤلفة  
منها.

قانون الترموديناميك الثاني إقرار الفوضى التي لا يمكن أن تتناقص. وهذا  
مكافئ للقول ان الحرارة لا يمكن أن تجري من جسم بارد إلى جسم  
ساخن.

توسع الزمن انخفاض الزمن للمراقب المتحرك قرب سرعة الضوء أو  
المجرب للجاذبية القوية.

دورة الزمن انظر المنحنى المغلق شبيه الزمن ص 194.

آلة الزمن انظر المنحنى المغلق شبيه الزمن ص 194.

انتقال الزمن الانتقال في الماضي أو المستقبل، بمعدل أكثر من سنة لكل  
سنة.

تناقض انتقال الزمن الوضعية غير المقبولة بأن انتقال الزمن يبدو مسموحاً.  
والأكثر شهرة هو فرضية الجد حين يرجع شخص ما بالزمن للخلف  
ويطلق النار على جده قبل أن تحمل به أمه. فكيف لهؤلاء أن يولدوا  
ليرجعوا بالزمن للخلف ويفعلوا الحادثة الشنيعة؟

كسوف كلي للشمس احتجاب الشمس بقرص القمر عندما يكون القمر بين  
الشمس والارض.

تناقض التوأم التناقض الذي يبرز عندما ينتقل أحد التوأمين بالقرب من سرعة  
الضوء إلى نجم ألفا سنثوري ويرجع بينما (التوأم) يبقى الثاني بالبيت.  
وطبقاً للنظرية النسبية الخاصة، انتقال المكان لتوأم عمرهما أقل. ومن  
وجهة نظر أخرى، انها الأرض عندما تتحسر من المكان المنتقل للتوأم

قرب سرعة الضوء ولذلك يبقى في البيت من يكون عمره أقل. التناقض  
تم حله بادراك ان الوضعيتين غير متكافئتين. فانتقال مكان التوأم يخضع  
لإبطاء وتعجيل حول نجم ألفا سنثوري؛ والتعجيلات تتطلب نسبياً عامة  
وليس نسبياً خاصة.

فوق البنفسجية نوع من الضوء اللامرئي والذي يعطى للخارج باجسام ساخنة  
جداً وهو الذي تسفحه أو تلوّحه الشمس.

مبدأ اللادقة انظر مبدأ اللادقة لهايزنبرك ص 200.

التوحيد الفكرة هي ان الطاقة الشديدة الارتفاع للقوى الأساسية الاربع في  
الطبيعة كانت واحدة وموحدة في اطار نظري مفرد.

الكون كل شيء هناك. وهذا مصطلح مرّن يستخدم لما نسميه الآن النظام  
الشمسي. ومؤخراً، استعمل لما يسمى درب اللبانة. والآن يستعمل  
كمجموع كلي للمجرات، حيث تظهر لتكون بما مقداره 10 مليارات في  
الكون.

تمدد الكون هروب المجرات من بعضها البعض كنتيجة لتشكّل الكون.

الكون الملاحظ كل الذي نستطيع رؤيته لافق الكون.

اليورانيوم أثقل العناصر الطبيعية الموجودة.

جسيمة افتراضية جسيمة لها وجود زائل، مفرقة طبقاً للقيد المفروض بمبدأ  
اللا دقة لهايزنبرك.

اللزوجة الاحتكاك الداخلي للسائل. فالدبس له لزوجة عالية والماء له لزوجة  
قليلة.

الدالة الموجية كمية رياضية تحتوي كل ما يعرف حول هدف كمي مثل  
الذرة. فالدالة الموجية تتغير مع الزمن طبقاً لمعادلة شرودينغر.

الطول الموجي المسافة للموجة خلال انتقالها بدون ذبذبة كاملة.

ثنائية الموجة-الجسيمة القابلية للجسيمة داخل الذرة، ان تسلك سلوك كرة  
بليارد في مكان محدد أو تنتشر خارج الموجة.

القوة النووية الضعيفة القوة الثانية المجربة بالبروتونات والنيوترونات في نواة ذرية، أما الأخرى فهي القوة النووية القوية. فالقوة النووية الضعيفة تستطيع ان تحول النيوترون إلى بروتون، ويتضمن بانهلال بيتا.

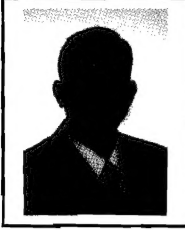
القزم الأبيض نجم نفذ منه الوقود وضغطته الجاذبية إلى حوالى حجم الأرض. فالقزم الأبيض مدعم ضد انكماشات إضافية بضغط انحلال الإلكترون. ومكعب السكر للقزم الأبيض للمادة يزن حجم سيارة عائلية.

الثقب النفق خلال الزمان - المكان الذي يوصل مناطق بينها مسافات شاسعة ومجهزة بطريق مختصر.

الأشعة السينية أحد أشكال الطاقة العالية من الضوء.

بسم الله الرحمن الرحيم

## المترجم في سطور



### البيانات الشخصية

♦ الدكتور يعرب قحطان الدوري.

أستاذ جامعي في فيزياء المواد.

مواليد: بغداد - العراق، عام 1969م.

البريد الإلكتروني: yaldouri@yahoo.com

### المؤهلات العلمية

♦ حصل على شهادة دكتوراه دولة بتقدير مشرف جداً مع شكر لجنة المناقشة في فيزياء المواد عام 2000 م، وكان الأول على دفعة الخريجين.

♦ عمل منذ حصوله على دكتوراه دولة في الفيزياء أستاذاً مساعداً وباحثاً علمياً بمختلف الجامعات العربية في الجزائر وسنغافورة وماليزيا واليمن وألمانيا وفرنسا.

### الخبرات الأكاديمية

♦ نشر 33 بحثاً حتى الآن في مجلات علمية محكمة دولياً في: الولايات المتحدة الأمريكية، والمملكة المتحدة، وألمانيا، وهولندا، وفرنسا، وفنلندا، والصين، ودول عربية.

♦ شارك في 19 مؤتمراً علمياً دولياً في أوروبا وآسيا وأفريقيا.

♦ رئيس تحرير المجلة الدولية لعلم المواد والمحاكاة  
[http://ijmss.itwell.us/IJMSS\\_editors.htm](http://ijmss.itwell.us/IJMSS_editors.htm)

♦ أشرف على رسائل طلبة الدراسات العليا لنيل شهادة الماجستير.

♦ نال تكريمات علمية وأكاديمية خلال زيارته لمركز العلوم الفيزيائية النظرية والتطبيقية في الأردن وكذلك لقسم فيزياء الحالة الصلبة بجامعة درسدن في ألمانيا.

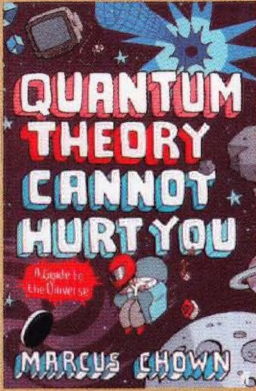
♦ عضو الجمعيات العلمية للفيزياء والرياضيات في العراق والجزائر والمملكة المتحدة وسنغافورة والاتحاد العربي لعلوم الفضاء والفلك في الأردن.

♦ يجيد التحدث والتدريس باللغات العربية والإنجليزية والفرنسية.









« غريب، مثير، ومحرك للعقل ».

– مجلة « الطبيعة »

إن إنجازي الفيزياء الحديثة الأهم هما نظريتا الكمية والنسبية لأينشتاين. وهما عملياً تفسران معاً كل شيء عن الكون الذي نعيش فيه. ولكن، وبعد حوالي قرن على إطلاقهما، فإن معظم الناس لا يملك أدنى فكرة عنهما.

وماركوس تشاون، الذي أربكته محاولات غيره لتفسير هذه الأفكار للجماهير العريضة، كَوّن انطباعاتاً بضرورة وجود

طريقة أفضل. وهذا الكتاب هو الجواب. فعبّر لغة مبسطة، وصفحات قليلة يمكن قراءتها خلال فترة قصيرة، يسلط الضوء على الفكرتين الأكثر روعة وإثارة في القرن المنصرم.

« ذكي، مسلي، وسهل القراءة ».

– سيمون سينغ

إن العلم هو أكثر غرابة من الخيال العلمي...

- مع كل نفسٍ تتنشقهُ تَدْخُلُ صدرك ذرّة زفرتها مارلين مونرو.
- يمكن حشر كامل الجنس البشري في حجم مكعب من السكر.
- ستهرم بسرعة أكبر على سطح بناءٍ ممّا لو كنت أسفله.

كل هذا صحيح، ولكن كيف؟

فكرتان فذتان هما نظرية الكمية ونظرية أينشتاين العامة حول النسبية تحملان التفسير.

ممتع، منير، وكأنه المستحيل. إن كتاب «نظرية الكمية لا يمكن أن تؤذي»، يكشف معجزات الفيزياء الحديثة، ويفسر لماذا تخسر من وزنك أكثر كلما أسرعت في سفرك.

ISBN 978-9953-87-300-8



9 789953 873008

ص. ب. 1102-2050 شوران 13-5574

بيروت – لبنان

هاتف: (+961-1) 785107/8

فاكس: (+961-1) 786230

البريد الإلكتروني: asp@asp.com.lb



الدار العربية للعلوم ناشرون

Arab Scientific Publishers, Inc.

www.asp.com.lb - www.aspbbooks.com

